Welche Aenderungen verursacht die Berieselung mit Spüljauche in der Zusammensetzung des Bodens, mit besonderer Berücksichtigung des Kalkgehaltes?

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

GENEHMIGT

VON DER PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT

DER

FRIEDRICH-WILHELMS-UNIVERSITÄT

ZU BERLIN.

ACAD. LUGD. BAT. BIBL.

Von

Heinrich Knopf
aus Sorau (Nieder-Lausitz).

Tag der Promotion: 30. März 1911.

94

Referenten:

Prof. Dr. **Orth.**
Prof. Dr. **Gabriel.**

Emil Ebering, Berlin NW., Mittelstraße 39.

Meinem Freunde
dem Grossherzogl. Domänenpächter

Albert Schütze

in Katzenhagen (Mecklenburg-Strelitz).

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41533914_0143

Die Spüljaucheberieselung, die heutzutage allgemein als das beste Verfahren zur Reinigung der städtischen Abwässer anerkannt wird, hat von jeher — das beweist die umfangreiche Literatur — das Interesse vieler Berufskreise, man kann fast sagen der Allgemeinheit gefesselt. Der Einfluß, den die Einführung des genannten Verfahrens auf die gesundheitlichen Verhältnisse in den Städten ausgeübt hat, ist vielleicht der Hauptgrund dafür gewesen. Wenigstens in der Literatur herrscht die Behandlung des Berieselungsverfahrens vom hygienischen Standpunkt vor. Daneben findet man in der Literatur interessante volkswirtschaftliche Abhandlungen, die den Einfluß auf den wirtschaftlichen Aufschwung des umliegenden Landes klar vor Augen führen. Am stiefmütterlichsten ist die rein landwirtschaftliche Seite in der Literatur behandelt, obwohl es eine der dankbarsten Aufgaben für Landwirte wäre, Mittel und Wege zu finden, um die Abwässer in der vollkommensten Weise für die Ernährung der Pflanzen auszunützen. In den Abwässern ist z. B. ein Stoff in großen Mengen enthalten, der mit jedem Jahre in immer größer werdenden Quantitäten vom Ausland als künstliches Düngemittel bezogen werden muß, der in vielleicht gar nicht allzu langer Zeit überhaupt nicht mehr zu erhalten ist wegen Erschöpfung seiner Lagerstätten, die Phosphorsäure. Bekannt ist ferner das ungünstige Verhältnis des ideellen Wertes der in den Abwässern enthaltenen Stoffe zu den tatsächlich erzielten. Da genügend Berechnungen hierüber vorliegen, verzichte ich auf eine Wiedergabe derselben.

Das Interesse der Landwirte müßte aber auch aus einem anderen Grunde für die Erforschung der vielseitigen Riesel-

wirtschaft geweckt werden. Wie auf allen Gebieten, wo Unsicherheit herrscht über den ursächlichen Zusammenhang der Dinge, kein Mangel besteht an den verschiedensten, sich gegenseitig widersprechenden Hypothesen, die vielfach von Laien aufgestellt werden, so ist es auch bei der Rieselwirtschaft der Fall. Da unsere Kenntnisse über mannigfaltige chemische und physiologische Prozesse bei der Berieselung sehr mangelhaft sind, so hört und liest man häufig von wohlgemeinten Vorschlägen, die den Städten gemacht werden, was ja bei dem allgemeinen Interesse wohl verständlich ist. Diese Vorschläge stützen sich nun leider nicht auf wissenschaftliche Untersuchungen, sondern begnügen sich häufig mit Behauptungen, die durch nichts in der Praxis bewiesen worden sind. Ein Beispiel dafür bietet folgende Behauptung[1]: „Die Berliner Rieselfelder müssen in relativ kurzer Zeit die Grenze ihrer Aufnahmefähigkeit erreichen.“ Daß aber die Berliner Rieselfelder nach Aussage der Administratoren nach 30 jähriger Berieselung ebensogut funktionieren wie bei Beginn derselben, ignoriert der Verfasser, anstatt durch sorgfältige Filtrierversuche mit unberieseltem und berieseltem Boden die Abnahme der Filtriergeschwindigkeit experimentell zu beweisen.

Um der fortgesetzten Kritik ohne Beweise einen Riegel vorzuschieben, müßten die Landwirte die wissenschaftlichen Grundlagen der Rieselwirtschaft, zu denen ohne Zweifel in erster Linie die Kenntnis des Bodens zu rechnen ist, gründlich erforschen. Als in Berlin die Schwemmkanalisation eingeführt wurde, schlug Geheimrat Orth gelegentlich eines Vortrages im Klub der Landwirte die Errichtung einer agrikulturchemischen Versuchsstation für Rieselwirtschaft vor. Leider hat sich die Stadt Berlin nicht dazu entschließen können. Infolgedessen sind die Versuche nur in kleinerem Maßstab von einzelnen angestellt. So ist denn das Material,

1. Dr. Loewe: Die Beseitigung städtischer Abwässer. Berlin 1909.

das ich aus der Literatur über die Veränderung des Bodens zusammenzustellen habe, nicht sehr umfangreich.

In Deutschland wurden die ersten Versuche von Professor Alexander Müller im Jahre 1872 auf Veranlassung der Stadt Berlin angestellt[2]. Professor Müller ließ auf dem Tempelhofer Unterlande bei Berlin, einem sehr mageren Sandboden, während der Frostperiode Rinnsteinwasser in solchen Mengen über Hangflächen versickern, daß das Wasser unversickert eine Höhe von 6 m erreicht hätte, wozu in der Praxis ca. 6 Jahre Berieselung nötig sind. Bodenproben wurden nur nach der Berieselung genommen. Um Vergleiche mit unberieseltem Boden anstellen zu können, wurde in der Nähe des Versuchsfeldes eine Probe genommen. Als wichtigstes Ergebnis ist aus den Versuchen festzustellen: Bedeutende Anreicherung an Humus, desgleichen an den in Säure löslichen Bestandteilen. Der Humusgehalt ist nur als Glühverlust festgestellt. Heutzutage berechnet man den Humusgehalt, indem man annimmt, daß in 100 Teilen Humus 60 Teile Kohlenstoff enthalten sind. Durch das Glühen verliert nämlich der zur Bestimmung des hygroskopischen Wassers getrocknete Boden auch das chemisch gebundene Wasser, so daß die Glühverlustbestimmung größere Zahlen ergibt, als der aus dem Kohlenstoffgehalt rechnerisch ermittelte Humusgehalt beträgt. Um mich über die Differenzen zu orientieren, habe ich von drei verschiedenen Sandböden der Friedrichsfelder Feldmark Parallelbestimmungen gemacht, deren Resultate aus Tabelle I ersichtlich sind.

Die Humusanreicherung hat nicht bloß in der Oberkrume, sondern auch in den tieferen Schichten stattgefunden. Als Grund dafür gibt Müller nicht bloß die gleichzeitige Berieselung des Bodens von unten nach oben an, welche durch die Verdrängung des Grundwassers erfolgt, sondern auch die Bewegung des Eisens im Rieselboden. Durch die

2. Reinigung und Entwässerung Berlins. Berlin 1872, Heft 7 u. 8.

faulende organische Substanz und durch auftretenden Schwefelwasserstoff ginge Eisen in Lösung, sickere infolgedessen in den Untergrund und scheide sich hier wieder aus, zusammen mit den mineralischen und organischen Stoffen, welche an das Eisen gebunden waren. Müller denkt wohl dabei hauptsächlich an die Phosphorsäure, welche die Bewegung des Eisens mitmacht. Die Zunahme des Bodens an organischen Stoffen hat Müller auch für das Rieselfeld Gennevilliers bei Paris festgestellt bis zu einer Tiefe von 1,50 m^3. Er fand ferner, daß die suspendierten Stoffe der Jauche mechanisch an der Erdoberfläche und an den Pflanzenteilen festgehalten würden und wegen der Feinkörnigkeit des flugsandähnlichen Sandbodens nicht in den Untergrund eindrängen, sondern nur die oberste Schicht auf wenige Millimeter durchzögen. Die in der Jauche gelösten Stoffe würden chemisch vom Boden absorbiert, und zwar um so besser, je toniger und humoser der Boden sei, um so spärlicher, je sandiger und ärmer an Humus. Durch die Anhäufung der düngenden Bestandteile gewönne der Boden schnell an Kraft. Er stellt endlich die Prognose, daß der Rieselboden, der sich allmählich mit schwarzer, fetter Erde bedeckt, nicht mehr die gleichen Mengen Abwasser wie ursprünglich aufnehmen, daß aber durch Drainage seine Filtrierfähigkeit gesteigert werden könne. Wenn auch der reine Sandboden größere Quantitäten Wasser aufnehmen könne als der tonige und humose, so sei der Grad der Reinigung bei letzteren Böden wieder ein besserer. Einige Jahre später hat Professor Müller in einer Arbeit, „Die Kanalisierung der Städte und deren Spüljauche“[4] weit ungünstigere Ansichten über Veränderung des Bodens durch Berieselung entwickelt. Er sagt wörtlich: „Der Sandboden

---

3. Landw. Versuchsstationen 1879, 23, 22.

4. Separatabdruck aus der Vierteljahrsschrift für öffentliche Gesundheitspflege.

gewährleistet zwar die Unterbringung der größten Mengen Spüljauche auf die längste Zeitdauer und der Lehmboden besäße nur 15 % der Aufsaugekraft des Sandes, aber in wenigen Jahren nähme die Durchlässigkeit des Sandes nicht unbedeutend ab, weniger wegen des steigenden Gehaltes an Humus, als wegen der Verschlämmung der Poren durch die mechanischen Bestandteile der Jauche und vielleicht des Bodens selbst.“ Wäre die Jauche geklärt, so könnte der Filterboden täglich benutzt werden. Die suspendierten Teilchen aber verhinderten dies, da sie nur Bruchteile eines Millimeters stark aufliegend, nur noch ein „langsames kapillares Durchschwitzen“ gestatteten. Professor Müller empfiehlt daher, den auf den Feldern sich absetzenden Schlamm trocknen zu lassen, durch fleißige Bearbeitung mit Pflug und Egge zu zerkleinern, längere Zeit der Luft zu exponieren zwecks Oxydation, und wenn dann trotzdem die Filtration nachlasse, den Schlamm abzufahren. Er empfiehlt ferner, auch wegen der höheren Düngerverwertung die Fläche für die Bewässerung möglichst groß zu bemessen. Dieser letztere Vorschlag wird jetzt allgemein anerkannt und befolgt. Herr Stadtrat Marggraff, der auf dem Gebiete des Rieselwesens große Erfahrungen besitzt, hält es für überaus wichtig, genügend große Flächen für die Jaucheabfuhr zu reservieren, obwohl die Frage noch offen ist, ob der Boden durch die Berieselung so verändert werden kann, daß mit der Zeit größere Flächen zur Unterbringung nötig werden. Die Veränderung des Bodens kann einmal darin bestehen, daß die Poren des Bodens sich verstopfen und die Filtrierfähigkeit des Bodens leidet. Diese Prognose Alexander Müllers ist nicht eingetroffen. Um Berlin wird nunmehr über 30 Jahre gerieselt, ohne daß der Boden eine geringere Aufnahmefähigkeit für die Spüljauche zeigte. Allerdings hat man durch Drainage, wo die natürliche Drainage in Gestalt von mächtigen Sandschichten fehlt, durch geeignete Bearbeitung der Oberfläche, durch Abfahren von Schlamm und endlich durch

Innehalten von bestimmten Wasserquantitäten der Erschöpfung vorgebeugt. Der Beweis dafür ließe sich im Laboratorium, allerdings mit Schwierigkeiten, führen. Denn der auf Filtriergeschwindigkeit zu untersuchende Boden muß erstens in seiner natürlichen Struktur und Lagerung ins Laboratorium gebracht werden, und zweitens können die Resultate durch Zufälligkeiten leicht gefährdet werden. Die praktische Erfahrung jedenfalls spricht dafür, daß der Rieselboden trotz jahrelanger Berieselung seine Aufnahmefähigkeit für Wasser behält.

Die Veränderung des Bodens kann aber auch in dem Verlust derjenigen Bestandteile desselben bestehen, welche die gelösten Stoffe der Jauche chemisch absorbieren und somit einerseits den Boden mit leicht löslichen Dungstoffen bereichern, andererseits die Jauche reinigen. Diese Frage ist nur im Laboratorium zu lösen und ich werde nachher näher auf dieselbe eingehen.

Die übrigen von Professor Müller gefundenen Resultate sind durch spätere Untersuchungen, zum Teil auch durch meine bestätigt worden. Die Anreicherung mit Humus und die Bewegung des Eisens sind mit bloßem Auge zu erkennen. Besonders deutlich sichtbar soll die Bewegung des Eisens in den großen Staubassins gewesen sein, wo sich die rotbraunen Streifen an den Außenseiten der Dämme langzogen. Auf die Bewegung des Eisens komme ich weiter unten noch zurück.

Umfangreiches Analysenmaterial von Spüljauche, Drainwasser und Boden brachte Reinhold Klopsch in seiner Arbeit: Chemische Untersuchungen über die hygienische und landwirtschaftliche Bedeutung der Breslauer Rieselfelder[5]. Der Zweck der Arbeit war, wie aus dem Thema ersichtlich ist, ein doppelter. Einmal sollte untersucht werden, ob die Reinigung der Jauche derartig sei, daß die Drainwässer in

5. Landw. Jahrbücher. 1885, S. 109.

die offenen Gewässer geleitet werden können. Das Interesse der Landwirtschaft dagegen sollte durch Beantwortung der folgenden Frage befriedigt werden: „Wird der Erdboden der Rieselfelder durch langjähriges, aber rationelles Berieseln in seiner absorbierenden und oxydierenden Wirkung beeinträchtigt?“ Der Weg, den Klopsch dabei einschlug, war folgender: Er analysierte die Spüljauche und das Drainwasser und zog aus der Vergleichung der Resultate seine Schlüsse bezüglich des Reinigungsgrades. Ferner analysierte er unberieselten und berieselten Boden, um das Plus oder Minus an Bestandteilen, das er bei der Analyse des Drainwassers ermittelt hatte, durch die Veränderung des Rieselbodens erklärt zu finden. Da nun aber auch ein Teil der Bestandteile von den Pflanzen aufgenommen wird, so wollte er in einer späteren Arbeit durch Pflanzenuntersuchungen seine Bilanz vervollständigen. Von den Schwierigkeiten, die dieses Verfahren bietet, hat Klopsch nur die eine erkannt, nämlich den Konzentrationsunterschied der Jauche und des Drainwassers. Er setzt sich über diese Schwierigkeit hinweg, indem er behauptet, daß bei der Berieselung soviel Wasser aus der Spüljauche abdunste, wie durch Niederschläge hinzukäme. Wenn auch Klopsch mit dieser Behauptung recht haben mag und im sehr großen Durchschnitt die Analysen vergleichbar sein mögen, so ist diese Methode, welche sich auf eine Annahme stützt, keineswegs als wissenschaftlich zu bezeichnen. Dazu kommt ferner, daß Klopsch nur mit den gelösten Bestandteilen der Jauche rechnet, während doch auch die suspendierten Teilchen mit auf den Acker gelangen. Zum Teil werden dieselben ja mechanisch wieder entfernt, beim Abfahren der Schlickschicht, zum Teil aber werden sie durch Eggen, Pflügen usw. mit der Ackerkrume innig vermengt und verändern wohl den Bestand derselben an Nährstoffen. Als Beispiel für die Unvollkommenheit der Klopschen Methodik möchte ich die von ihm gefundenen Kalkzahlen anführen. Er fand als Durchschnittsgehalt der

Spüljauche 77,8 mg im Liter, als Durchschnittsgehalt der Oswitzer Drainwässer 102,7 mg CaO im Liter. Aus diesen Zahlen folgert er: „Von 102,7 mg CaO im Drainwasser sind nur 77,8 mg CaO mit der Spüljauche auf den Acker gebracht worden; es sind also 24,9 mg CaO vom Boden ausgeschieden worden.“ Es ist nun aber sehr wohl möglich, daß die 24,9 mg CaO nicht vom Boden ausgeschieden sind, sondern daß der Kalk der suspendierten Teilchen, vielleicht von früher aufgebrachter Spüljauche, durch Verwitterung frei geworden ist und so das Plus des Drainwassers hervorgerufen hat. Um über die Menge des Kalks in den suspendierten Teilchen ein Bild zu geben, möchte ich gleich hier anführen, daß ich bei meinen Jaucheanalysen im Liter filtrierter Jauche 103 mg CaO, im Liter unfiltrierter Jauche 170 mg CaO fand, so daß 67 mg CaO in den suspendierten Teilchen enthalten waren. Ferner ergab die Analyse einer Schlickschicht des Bodens den hohen Kalkgehalt von 0,686 % CaO. Klopsch folgert also aus seinen Kalkzahlen: „Es steht zu erwarten, daß durch die Bodenanalysen Kalkarmut der Rieselfelder nachgewiesen würde.“ Die Bodenanalysen bestätigen aber die Resultate nicht, im Gegenteil findet er im Rieselboden meistens einen größeren Gehalt an CaO als im unberieselten. Er schließt denn auch sein Kapitel über Kalk: „Jedenfalls konnte bisher in keinem Falle Armut oder Ueberschuß von Kalk mit Sicherheit als Folge der Berieselung nachgewiesen werden.“ Weswegen die Bilanz nicht stimmt, kann sich also Klopsch nicht erklären. Er selbst gibt zu, daß die Ungleichmäßigkeit des Oswitzer Bodens an den überraschenden Resultaten schuld sei. Und dies scheint mir die dritte Schwierigkeit zu sein, mit der Klopsch zu kämpfen hatte. Ein Boden wie der Oswitzer, der vor der Berieselung im Durchschnitt den immerhin nicht unbedeutenden Kalkgehalt von 0,14 % CaO (löslich in heißem Königswasser, eine Stunde auf Wasserbad) enthält, wird eine Veränderung weniger deutlich anzeigen wie ein armer Sandboden. Auch

sind die Zahlen des unberieselten Bodens zu verschieden, als daß sie sich zum Vergleich eigneten.

Vergleicht man nun die von Klopsch gefundenen Resultate mit den beiden Aufgaben, die er sich gestellt hat, so muß man zugeben, daß er die erste, die den Hygieniker interessiert, gelöst hat. Denn er zeigt, daß das Oswitzer Drainwasser vom hygienischen Standpunkt aus es mit den Flußläufen, z. B. der Elbe bei Dresden, aufnehmen kann. Die zweite Aufgabe aber, die uns hier allein interessiert, ist nicht vollständig gelöst. Wie ich schon oben ausführte, ist sich Klopsch nicht darüber klar geworden, ob der Kalkgehalt des Bodens, geschweige denn die Absorptionskraft des Bodens für Kalk, sich ändert. Als wichtigste Ergebnisse seiner Vergleiche zwischen Jauche und Drainwasser möchte ich folgende Zahlen anführen:

	mg Jauche	im Liter Drainwasser
Gesamtstickstoff	94,5	30,5
Ammoniakstickstoff	56,6	3,0
N_2O_5	—	24,9
N_2O_3	—	1,8
Albuminoidstickstoff	38,0	0,8
SO_3	67,4	80,8
Cl	130,7	97,3
P_2O_5	23,1	—
K_2O	60,4	15,8
Na_2O	115,6	95,6
CaO	77,8	102,7
MgO	21,8	19,1
FeO	4,328	0,901
CO_2	—	286,5

Wie man aus diesen Zahlen ersieht, absorbierte der Oswitzer Boden nach drei Jahre langer Berieselung die Pflanzennährstoffe P_2O_5 und K_2O in befriedigender Weise, P_2O_5 vollständig und von K_2O 74 %. Vom Kalk ist schwer

zu sagen, welchen Anteil an den 102,7 mg der gelöste Kalk der Jauche oder der des Bodens, speziell der allmählich in Lösung gehende Kalk der Schlickschicht, hat. Die Oxydationskraft des Bodens ist als sehr gut zu bezeichnen, wofür die großen Mengen CO_2 und N_2O_5 im Drainwasser sprechen. Auffallend ist die Absorptionskraft des Bodens für Cl und Na_2O. Der Mehrgehalt des Drainwassers an SO_3 erklärt sich aus der Oxydation der organischen Schwefelverbindungen zu H_2SO_4. Betreffs des Eisens ist Klopsch der Ansicht, daß in der Jauche das Eisen nur in den suspendierten Teilchen als Schwefeleisen ausgeschieden sei und infolgedessen auf dem Boden sich mechanisch absetze. Die im Drainwasser gefundenen Mengen von 0,901 mg im Liter, so gering und unschädlich sie auch seien, stammten aller Wahrscheinlichkeit nach von der Reduktion und Lösung des im Boden befindlichen her.

Ungefähr dieselben Resultate fand Geheimrat Salkowsky bei seinen Jauche- und Drainwasseranalysen. Ich verzichte hier auf die Wiedergabe derselben, da sie ja vielfach veröffentlicht sind, u. a. in der Arbeit von Dr. Siegfried Hagen: Die Berliner Rieselfelder, ihre Einrichtung und volkswirtschaftliche Bedeutung. Ich möchte hier nur die Unterschiede gegenüber den Klopschschen Zahlen feststellen. So fand Salkowsky eine Zunahme des Na_2O-Gehalts im Drainwasser von 142,7 zu 170,1 mg im Liter. Kalk fand Salkowsky in der Jauche 107,5 mg, im Drainwasser 167,8 mg, also zwar größere Mengen als Klopsch, aber ungefähr dasselbe Verhältnis zwischen Jauche- und Drainwasserkalk. Wegen der Verschiedenheit der Konzentration von Jauche und Drainwasser darf man diesen Analysen für die Erforschung der Veränderung des Bodens nicht zu viel Bedeutung beimessen. So erkennt Professor Dunbar, eine Autorität auf dem Gebiet, die Schlüsse, die aus Vergleich von Spüljauche mit Drainwasser gezogen werden, nicht an[6].

6. Dunbar, Leitfaden für die Abwässerungsfrage.

Die von Klopsch ausgeführten Bodenanalysen bestätigen zum Teil die Anreicherung des Rieselbodens an Pflanzennährstoffen. Wegen der Ungleichmäßigkeit des Bodens möchte ich aber darauf verzichten, die Resultate hier anzuführen.

Eine umfangreiche Uebersicht über das bis 1899 vorhandene Analysenmaterial gibt Professor König in seinem Buch: Die Verunreinigung der Gewässer, deren schädliche Folgen, sowie die Reinigung von Trink- und Schmutzwasser. Zum Teil auf eigene Untersuchungen sich stützend, zum größeren Teil die vor ihm ausgeführten benutzend, gibt König ein anschauliches Bild von den Vorgängen, die bei der Filtration der Jauche durch den Boden sich abspielen. Da es unbedingt nötig ist, diese Vorgänge zu kennen, wenn man die Veränderungen studiert, die sie im Boden hervorrufen, so möchte ich hier die wichtigsten Tatsachen herausgreifen. Alexander Müller und Klopsch stellen als die Haupttätigkeit des Bodens das Abfiltrieren der ungelösten Bestandteile der Jauche und die Absorption der gelösten hin. König, der sich die großartigen Fortschritte auf dem Gebiete der Bakteriologie in den 80er und 90er Jahren des vergangenen Jahrhunderts zunutze macht, erklärt dagegen, daß die Haupttätigkeit des Bodens in seiner zersetzenden und oxydierenden Kraft besteht, während die Absorption nur eine nebensächliche Rolle spielt. Mit anderen Worten, er stellt die biologischen Prozesse über die chemischen. Die praktische Nutzanwendung muß natürlich die sein, daß man sich zur Berieselung nicht einen Boden wählt, der sich durch seine Absorptionskraft auszeichnet, ganz abgesehen von den physikalischen Vorteilen der weniger stark absorbierenden Böden, sondern einen solchen, der den kleinen Lebewesen, die die biologischen Prozesse vollführen, die günstigsten Lebensbedingungen bietet. Diese sind zwar für die einzelnen Bakterien verschieden. Da aber die Ueberführung der organischen Stickstoffverbindungen in Salpetersäure das

wichtigste Moment bei der Berieselung darstellt, so wird man die Tätigkeit der Nitrifikationsbakterien speziell zu fördern suchen. Letztere verlangen vor allem Sauerstoff, einen mittleren Feuchtigkeitsgehalt, Wärme und eine gewisse Alkalität des Bodens. Besonders Calciumkarbonat, auch Gips fördern die Nitrifikation. Licht soll sie beeinträchtigen. Aus diesen Tatsachen, so folgert König, ergibt sich die Ueberlegenheit des durchlüfteten Sandbodens gegenüber dem verschlossenen Tonboden für Berieselung. Alles, was den Sauerstoffzutritt begünstigt, u. a. auch die Drainage, fördert auch den Abbau der organischen N-Verbindungen zu Salpetersäure und somit die Reinigung der Jauche. Die übrigen in der Jauche gelösten organischen Verbindungen, vorwiegend aus C, H und S bestehend, unterliegen ebenfalls Oxydationsprozessen. Die Kohlensäurebildung ist ebenso wie die der Salpetersäure abhängig von Luft- bezw. Sauerstoffzufuhr, daneben auch von Wärme und Feuchtigkeit. Stark beeinträchtigt wird sie dagegen von einigen Salzen im Boden wie $FeSO_4$ und FeS, besonders auch durch große Konzentration der Bodensalze. Daraus folgt für den Rieselwirt, daß er seinen Boden nicht überlasten darf, wenn er die organischen Verbindungen in mineralische verwandelt sehen will. Dazu kommt ferner, daß die Kohlensäure, wenn sie sich erst mal in größeren Mengen im Boden angesammelt hat, antiseptisch wirkt, d. h. das Bakterienleben tötet und somit die beschriebene Tätigkeit des Bodens unterbindet. Es ist für die Beantwortung der mir gestellten Aufgabe sehr wichtig, daß ich diese Darstellungen Königs hier wiedergebe, da ich mich natürlich nur mit den Veränderungen eines Bodens beschäftigen kann, welcher nach den von der Wissenschaft festgelegten Grundsätzen berieselt worden ist. Die Hauptkraft des Bodens nämlich, die Oxydation, muß im Laufe kurzer Zeit nachlassen, wenn, wie von König geschildert, dem Boden infolge zu schnell aufeinanderfolgender Berieselung nicht Zeit gelassen wird, die Prozesse zu beendigen

und die gebildeten Zersetzungsprodukte an die Sicker- resp. Drainwässer abzugeben. Auch die Absorptionskraft des Bodens, sagt König, leidet unter zu schnell aufeinanderfolgenden Berieselungen, da die absorbierten Stoffe angehäuft eine Uebersättigung des Bodens herbeiführen. Wie schon oben angedeutet, hat nach König die Absorption allerdings nur eine geringe Bedeutung, steht jedenfalls der Aufnahmefähigkeit der Pflanzen bei weitem nach. Einigermaßen Bedeutung hätte sie nur für Phosphorsäure und Kali. Eine Absorption des Kalkes durch den Rieselboden gibt es nach König nicht. Denn die Quantitäten Ammoniak, die der Boden bei der Berieselung zu absorbieren habe, seien derartig, daß die daraus sich bildenden Mengen Salpetersäure die übrigen Basen (wie Kalk, Kali, Magnesia) leicht aus dem Boden wegführen können, sobald nur ein bestimmtes Quantum der Stickstoffgabe überschritten werde. Nach der Verwandtschaft der Zeolithe zu den Basen richtet sich bekanntlich die Stärke der Absorption. Kali soll nach König noch zum größten Teil im Rieselboden absorbiert werden, während Kalk in die Drain- resp. Grundwasser übergehe. Er hält aus diesem Grunde ein zeitweises Mergeln oder Kalken der Rieselfelder für wichtig. Nicht ersichtlich ist aus den Ausführungen Königs über das Berieselungsverfahren, ob das Absorptionsvermögen des Bodens mit der Zeit erhöht oder vermindert wird. Zur Prüfung dieser Frage genügt es nicht, aus der Untersuchung der Jauche und des Drainwassers die Abnahme der absorptionsfähigen Stoffe festzustellen. Denn durch die Wechselwirkungen der gelösten Teile der Jauche, die in mannigfachen chemischen und biologischen Prozessen zum Ausdruck kommen, würde der Anteil, den die Bodenabsorption (wohlverstanden in dem Sinne, den die heutige Wissenschaft mit dem Worte Absorption verbindet) an dem schließlichen Resultat der Drainwasserzusammensetzung hat, verwischt werden. So zeigen die Drainwasseranalysen meistens ein Minus an Kalk gegen-

über den Jaucheanalysen. Es ist nach meiner Ansicht unrichtig, hieraus zu folgern, der Rieselboden absorbiere überhaupt keinen Kalk. Denn es ist wohl möglich, daß ein Teil des Jauchekalks absorbiert wird, daß aber durch die sich bildenden Säuren H_2CO_3, NHO_3 und H_2SO_4 im Boden schon vorhandener leicht löslicher Kalk in Lösung gebracht wird. Es muß also die Absorptionsfähigkeit des Bodens für die einzelnen in der Jauche enthaltenen Nährstoffe durch getrenntes Aufbringen derselben ohne Beimengung von anderen Stoffen untersucht werden, so daß Wechselwirkungen vermieden werden. Diese Vorbedingung ist auch von Dr. Lissauer nicht befolgt worden, als er eingehende Untersuchungen über die Veränderung der Absorptionskraft des Danziger Rieselbodens anstellte. Auf diese Arbeit würde ich nicht eingehen, wenn sich nicht Professor Dünkelberg in seinem Buch „Die Technik der Reinigung städtischer und industrieller Abwässer durch Berieselung und Filtration" auf sie berufen würde. Er behauptet darin, durch die suspendierten Stoffe der Jauche werde allmählich die Absorptionskraft des Bodens für Kali, Ammoniak und Phosphorsäure erhöht. Als Beweis führt er die eben erwähnten Versuche Dr. Lissauers an. Dieselben sind veröffentlicht in der „Deutschen Vierteljahrsschrift für öffentliche Gesundheitspflege"[7]. Es kam Dr. Lissauer, wie er in der Einleitung betont, vor allem darauf an, das Schicksal der mit der Jauche in den Boden gebrachten organischen Körper zu verfolgen. Zu diesem Zwecke stellte er zunächst eine Reihe von Filtrierversuchen mit Harnstofflösung an, durch die er auch den Beweis erbrachte, daß der Boden imstande ist, aus diesen Lösungen den Harnstoff festzuhalten. Um nun weiter zu beweisen, daß der Boden diese Eigenschaft durch jahrelanges Berieseln nicht verliert, sondern im Gegenteil noch stärker

---

7. 8. Bd., 1876, S. 569. „Hygienische Studien über Bodenabsorption."

entwickelt, stellte er sich eine künstliche Lösung her aus 6 Teilen Harnstoff, 2 Teilen KCl, 6 Teilen Na_3PO_4 und 200 Teilen H_2O und beschickte damit unberieselten Sand, ferner Sand nach einjähriger, zweijähriger, dreijähriger, vierjähriger Berieselung. Ich erwähnte schon, daß es nicht korrekt ist, die Absorption verschiedener Stoffe zusammen, besonders wie hier, in einer willkürlich zusammengesetzten Flüssigkeit zu bestimmen, da durch die gegenseitigen Wechselwirkungen das Bild jener Kraft, die wir mit Absorption bezeichnen, verwischt wird. Hätte Dr. Lissauer untersuchen wollen, wie sich der längere Zeit berieselte Boden zu den gelösten Teilen der Jauche verhält — eine andere Frage als die der Absorption —, so hätte er zu seinen Versuchen eben Jauche nehmen sollen. Aber selbst wenn man von den angedeuteten Wechselwirkungen absieht und annimmt, daß seine Resultate auch auf die Stoffe der Spüljauche zu übertragen sind, so kann man Dr. Lissauer nicht den Vorwurf ersparen, daß er aus seinen Versuchen viel zu weitgehende Schlüsse gezogen hat, daß er aus der wirklichen Zunahme e i n e r Absorption, nämlich der der Phosphorsäure, und der Differenz der spezifischen Gewichte der Lösung und des Filtrats auf die Zunahme der Absorption des Bodens im allgemeinen geschlossen hat. Offenbar ist es ihm nicht bekannt gewesen, daß die Absorption der verschiedenen Stoffe auch ganz verschiedenen Absorptionsträgern im Boden zukommt; daß die Phosphorsäure hauptsächlich von Kalk, Eisen und Aluminium, die basischen Nährstoffe dagegen vorwiegend von den Zeolithen absorbiert werden; daß die Absorption des Harnstoffs endlich wieder ganz andere Voraussetzungen bedingt, wie weiter unten noch näher auszuführen ist. Die Resultate seiner Versuche waren folgende:

---

8. Dr. Lissauer: Hygienische Studien über Bodenabsorption.

Es hatten absorbiert 1000 cbm	Harnstoff g	Cl g	P_2O_5 g	Differenz zwischen d. spez. Gew. des Filtrats und dem der Lösung	Verhältnis dieser Differenz
durchschnittl. Sand	3,38105	0,06784	0,5259	3,5	10,0
nach 1jähriger Rieselkultur	2,154	0,039	0,7371	4,25	12,1
nach 2jähriger Rieselkultur	3,72758	0,1281	0,9896	6,5	18,5
nach 3jähriger Rieselkultur	5,009	0,17805	1,1533	7,75	22,1
nach 4jähriger Rieselkultur	3,6441	0,1149	1,2933	7,5	21,4

Dr. Lissauer folgert wörtlich: „Diese Tabelle lehrt uns klar folgendes: Der Heubuder Dünensandboden hat durch die Rieselkultur von Jahr zu Jahr eine bedeutende Steigerung seiner Absorptionsfähigkeit für die wichtigsten Bestandteile des Kanalwassers erfahren.“ Diese Schlußfolgerung aus vorstehenden Versuchen zu ziehen, ist ganz unmöglich. Die Abnahme des spezifischen Gewichts bedeutet doch nur, daß die Konzentration der Filtrate geringer geworden ist. Der Sprung in der Schlußfolgerung Dr. Lissauers liegt nun darin, daß er aus der Zunahme der Phosphorsäureabsorption, eines sehr wichtigen Stoffes, auf die Zunahme der Absorption aller wichtigen Stoffe schließt, während es sehr gut möglich wäre, daß die wichtigen Stoffe mit der Zeit weniger stark absorbiert werden, die übrigen Stoffe aber durch ihre stärker werdende Absorption dafür sorgen, daß die Konzentration der Filtrate geringer wird. Wie weiter unten näher auszuführen ist, wird die Phosphorsäure nicht bloß von Kalk, Eisen und Aluminium im Boden gebunden, sondern unterliegt höchstwahrscheinlich auch der Absorption durch die Kolloide des Bodens. Da deren Bestand durch die Humusanreicherung im Rieselboden

größer wird, so ist die Zunahme der Phosphorsäureabsorption leicht erklärlich. Unbegreiflich aber ist es, daß auch Professor Dünkelberg aus diesem Versuche auf die Zunahme der Absorptionskraft für Ammoniak und Kali schließt. Uebrigens konnte ich in der Literatur über Veränderung der Absorptionskraft keine weiteren Angaben finden und ich glaubte daher, diesen Versuchen besonders auf den Grund gehen zu müssen, zumal ich bei den unten zu beschreibenden Filtrierversuchen betreffs Absorption des Kalkes zu entgegengesetzten Resultaten gekommen bin. Dünkelberg bezieht sich auf Dr. Lissauers Arbeit auch in seinen Angaben über die physikalische Veränderung des Bodens durch Berieselung. So hat nach Dr. Lissauer die Wasserkapazität in der obersten Schicht von 20 cm durch vierjährige Berieselung um 100 cbm Wasser für 1000 cbm Boden zugenommen, dagegen hat das absolute Gewicht des Bodenvolumens abgenommen, was auf einer „Verdrängung der schweren Bestandteile durch leichtere beruht“[8]. Eine Zunahme der Wasserkapazität konstatiert auch Professor Dunbar in seinem Buch „Leitfaden für die Abwässerungsfrage“, und zwar in dem Kapitel über „intermittierende Bodenfiltration“. Nun liegen ja nach Dunbar die Verhältnisse bei der Berieselung etwas anders als bei der „intermittierenden Bodenfiltration“. Die quantitative Belastung bei der Berieselung ist lange nicht so groß, es wird gepflügt, geeggt, gebracht usw. Doch findet nach Dunbars Ansicht auch bei der Berieselung ein Verstopfen der Poren und Einhüllen der Sandkörner durch die sogenannten humosen Stoffe statt; und da diese schwer zersetzbar sind, verringern sie die Durchlüftungsverhältnisse und vermindern die Filtrationsgeschwindigkeit, während sie die Wasserkapazität vergrößern. Welche Bedeutung diesen physikalischen Veränderungen des Bodens, sachgemäße Ausführung der Berieselung vorausgesetzt, in der Praxis zukommt, habe ich bereits oben ausgeführt. Dunbar gibt auch selbst zu, daß Rieselanlagen

selbst ohne vorhergehende Ausscheidung der ungelösten Stoffe lange Zeit bestanden hätten. Er bedauert lebhaft, daß wissenschaftliche Untersuchungen, wie sie bei der intermittierenden Filtration vorliegen, bei der Berieselung fehlen. So erkennt er nicht die Schlüsse an, die andere vor ihm aus Vergleich von Jauche- und Drainwasseranalyse gezogen haben. Denn man wisse ja nie, ob die Gesamtmenge des Abwassers zum Abfluß komme oder ob eine Mischung mit Grund- und Regenwasser eintrete. Das Material, welches Dunbar in seinem Kapital über intermittierende Filtration gibt, möchte ich auch hier anführen. Wenn auch die Belastung der Felder, wie schon angedeutet, bei diesem Verfahren um das Zehn- bis Zwanzigfache größer ist als bei der Berieselung, so haben die beiden Verfahren doch gewisse Aehnlichkeiten. Bei der Berieselung kommt vor allem die Verarbeitung der Nährstoffe durch die Pflanzen hinzu. Der Oxydationsprozeß der in der Jauche gelösten organischen Teile ist derselbe. Die Darstellung des letzteren durch Dunbar ist insofern interessant, als sie in die Details dieses Prozesses eindringt. Danach bildet sich auf dem Sande ein schmieriger Belag, den Dunbar „Benetzungshäutchen“ nennt. Letzteres habe die Eigenschaft, die in der Flüssigkeit gelösten organischen Stoffe niederzuschlagen, und zwar um so energischer, je „reifer“ (Dunbar) das Filter sei. Der mitunter starke Eisengehalt des norddeutschen Sandes unterstütze diese Eigenschaft. Der eigentliche, von König geschilderte Oxydationsprozeß trete erst in der nachfolgenden Ruheperiode ein. Man könne also nicht von chemischer Bindung sprechen. Ueber die chemischen Veränderungen des Bodens durch Berieselung konnte ich in Dunbars Buch keine Angaben finden.

Nach diesen Literaturangaben über die Veränderung des Bodens durch Berieselung und zum Teil über den Prozeß selbst, der sich beim Rieseln abspielt, möchte ich nunmehr meine eigenen Untersuchungen anführen, mir aber vorbe-

halten, hier und dort, wo es notwendig erscheint, auf noch nicht angegebene Literatur zurückzugreifen, die im Zusammenhang dargestellt zu werden mir nicht geeignet erschien, ohne daß sie an Bedeutung der bis jetzt angeführten nachsteht.

Zwei Wege kann man beschreiten, um die Veränderungen zu studieren, welche die Berieselung im Boden hervorrufen. Entweder untersucht man Boden vor der Berieselung auf alle chemischen und physikalischen Eigenschaften hin und dann noch einmal, nachdem er einige Jahre berieselt ist. Dieser Weg ist bis jetzt benutzt worden von Prof. Alexander Müller, Klopsch und Dr. Lissauer. Oder man bedient sich des experimentellen Versuches, d. h. man sticht unberieselten Boden in seiner natürlichen Struktur und Lagerung in möglichster Tiefe aus, beschickt ihn mit Spüljauche unter möglichst natürlichen Verhältnissen, d. h. man bemisst das Quantum der Jauche, die Zeit, die zwischen den einzelnen Rieselungen liegt usw., nach den Verhältnissen, wie sie in der Natur vorliegen. Eventuell kann man auch den Boden mit Gras besäen. Nach ein bis zwei Jahren untersucht man den Boden dann wieder und stellt die Veränderungen fest. Eine Hauptschwierigkeit besteht darin, die im Boden durch die Kraft der Wasserkapazität festgehaltene Jauche aus dem Boden herauszudrücken. Es wäre fehlerhaft, solange Jauche zuzugeben, bis das zuerst gegebene Quantum, welches vielleicht der Hälfte der Wasserkapazität entspricht, herausgedrückt ist. Damit würde man schon von den natürlichen Verhältnissen abweichen. In der Natur, wo der Zusammenhang der Bodensäule mit dem tieferen Untergrund nicht unterbrochen ist, findet der Abfluß durch den Ausgleich mit den tieferen Schichten statt. Die einzige Möglichkeit ist also, die Jauche mittels einer Saugpumpe abzusaugen. Man kann nunmehr durch Vergleich der Jauche und des Filtrats, deren quantitative Verhältnisse sich nicht durch Verdunstung, Mischung mit dem Grundwasser usw.

verschoben haben, die Veränderungen, die im Boden hervorgerufen werden müssen, zum Teil ohne die Analyse des Bodens feststellen. Dieses Verfahren, das sicherlich große Schwierigkeiten bereitet, vor allem viel Zeit erfordert, ist bis jetzt, soweit mir bekannt ist, noch nicht angewandt worden. Wird dieses Verfahren einmal praktisch durchgeführt, so bietet es die größten Garantien für streng wissenschaftliche Arbeit.

Die Schwierigkeiten des zuerst genannten Weges liegen in der Beschaffung des geeigneten Vergleichsmaterials. Denn, wenn man Bodenproben von lange Jahre berieseltem Felde und in selbst möglichster Nähe Bodenproben von unberieseltem Felde aufnimmt, so setzt man stets voraus, daß der Rieselboden vor der Berieselung dieselbe Zusammensetzung hatte wie der unberieselte. Diese Schwierigkeit ließe sich nur dann überwinden, wenn man schon bei der Aptierung von Rieselland ein Bodenprofil aufnimmt und an derselben Stelle, höchstens 1 m entfernt nach fünf resp. zehn Jahren ein Profil aufnimmt. Erst dann könnte man mit Sicherheit die Veränderungen feststellen. Will man aber diese Zeit nicht abwarten, sondern Bodenproben von unberieseltem und berieseltem Felde gleichzeitig aufnehmen, so müssen besonders günstige Umstände vorliegen, die die Gleichmäßigkeit des Bodens vor der Berieselung einigermaßen gewährleisten. In dieser glücklichen Lage befand ich mich, als Geheimrat Orth am 10. Dezember 1909 mit mir nach dem Rittergut Friedrichsfelde bei Berlin fuhr, um dort vergleichbares Bodenmaterial zu suchen. Geheimrat Orth hatte nämlich den Friedrichsfelder Boden viele Jahre vor Einführung der Berieselung einer derartig gründlichen Untersuchung unterzogen, daß ihm jeder Unterschied des Bodens bekannt war. Die Untersuchung war auf Anregung des Landwirtschaftlichen Zentralvereins des Regierungsbezirks Potsdam erfolgt, welcher einen Preis auf das beste Werk einer Agrikulturgeognosie ausgesetzt hatte. Nachdem der Preis Ge-

heimrat Orth zuerteilt war, faßte er das Material nochmals zusammen, erweiterte es und gab es im Jahre 1875 heraus unter „Geognostisch-agronomische Kartierung mit besonderer Berücksichtigung der geologischen Verhältnisse Norddeutschlands und der Mark Brandenburg. Erläutert an der Aufnahme von Rittergut Friedrichsfelde.“ In diesem Buch verwirft Geheimrat Orth das dualistische Prinzip, d. h. auf besonderen Karten den oberen Boden, auf anderen die geognostischen Grundlagen anzudeuten. Die Karten müßten das Gesamtprofil des Bodens „mit Bezug auf Bestand, Lagerung und Mächtigkeit der einzelnen übereinander befindlichen Schichten“ zum Ausdruck bringen. „Denn die Profile sind im wesentlichen die konstanten Faktoren des Bodenwertes.“ Weiter heißt es in der Einleitung: „Die geologischen Karten bringen die Erdrinde unvollkommen zum Ausdruck, wenn nicht petrographisch der Bestand und die obersten Schichten, eventuell die Oberkrume und der Verwitterungsboden dabei berücksichtigt werden.“ Nach diesen Prinzipien, die übrigens mit geringen Abänderungen auch von der Kgl. preußischen geologischen Anstalt bei der geognostisch-agronomischen Kartierung akzeptiert worden sind, hatte Geheimrat Orth die Feldmark Friedrichsfelde als Muster einer derartigen Kartierung aufgenommen. Da mir dieses Kartenmaterial liebenswürdigerweise zur Verfügung gestellt wurde, konnte ich mich rasch über die Friedrichsfelder Bodenverhältnisse orientieren und vergleichbares Bodenmaterial finden. Im übrigen ist Friedrichsfelde später auch von der Kgl. preußischen geologischen Landesanstalt aufgenommen.

Es bestand nun die Aufgabe, innerhalb ein und derselben Bodenformation die Stellen auszusuchen, welche lediglich durch Berieselung mit Spüljauche sich in ihrer Zusammensetzung verändert hatten, nicht etwa durch künstliche Düngung oder andere Kulturmaßnahmen. Infolgedessen konnte ich von den zuerst aufgenommenen 8 Profilen nur 3 zu meinen Zwecken benutzen. Als typischen Vertreter der

auf dem Westflügel der Friedrichsfelder Feldmark vorkommenden Bodenarten hatte ich von der geringsten Bodenart, welche die mir auch zur Verfügung gestellte Gemarkungskarte mit V. 6, d. h. Weiden 6. Klasse, die geognostisch-agronomische Uebersichtskarte mit Profil IX (sehr trockener Sand) und die von der Landesanstalt herausgegebene Karte als Dünensand bezeichnete, zwei Proben genommen. Da aber eine Probe, die Vertreterin des unberieselten Bodens, von landwirtschaftlich ungenutzter Fläche, die andere, die Vertreterin des berieselten Bodens, von einem Feld genommen war, das jährlich neben 30 cm Spüljauche auch 1 Zentner 40 proz. Chlorkalium und $1^1/_2$ Zentner Thomasmehl pro $^1/_4$ ha erhielt, daneben auch Grün- und Stalldüngung, so waren die Proben nicht vergleichbar. Aehnlich ging es mir mit dem besten Boden auf dem Westflügel, dem oberen Diluvialmergel. Die geognostisch-agronomische Uebersichtskarte gibt als Profil für diesen Boden an:

Lehmiger Sand	0,7 m
Lehm	0,7—1 m
Mergel	
Sand	

Die Gemarkungskarte bezeichnet den Boden als 3. Ackerklasse, die Karte der Landesanstalt als lehmigen Sand mit schwer durchlässigem Lehmuntergrund, bei 1,5—2 m schwer durchlässigem Mergel. Da der unberieselte Boden anderweitig stark gedüngt war, so schienen mir diese Bodenproben zum Vergleich weniger geeignet als diejenigen, welche ich auf der dritten der auf dem Westflügel vorkommenden Bodenformationen aufgenommen hatte, dem unteren Diluvialsande. Die geognostisch-agronomische Uebersichtskarte bezeichnet die Stelle mit Profil IX (sehr trockener Sand), die Gemarkungskarte mit 7. Ackerklasse, die Karte der geologischen Landesanstalt als Sand mit durch-

lässigem Sanduntergrund, meist trocken. Von dieser Formation nahm ich zwei Bodenproben als Vertreter von berieseltem Boden, die eine von berieseltem Grasland, die zweite von verpachtetem Gemüseland. Wie mir der Administrator mitteilte, wird das Grasland (Profil —) seit Jahren als solches benutzt und gibt meistens vier Schnitte. Nach jedem Schnitt wird gerieselt, und zwar beträgt die Höhe der jährlichen Berieselung etwa 1 m. Das Gemüseland (Profil +) ist seit Jahren an kleine Leute verpachtet, welche ausschließlich Gemüse bauen und jährlich Rieselwasser in Höhe von ca. 1 m zuführen dürfen. Die Berieselung ist aber hier eher stärker als schwächer und übertrifft jedenfalls die der herrschaftlichen Grasflächen. Auf diesen Friedrichsfelder Schlägen wurde vor 25 Jahren mit der Berieselung begonnen. Zum Vergleich mit diesen Proben nahm ich nicht von der Friedrichsfelder Feldmark, sondern 5 m westlich des Grenzweges, auf einem bereits seit 8 Jahren brach liegenden Oedland (Besitzer: Katzenstein, Berlin) die Probe des unberieselten Bodens (Profil *A*). Die geologische Karte der Landesanstalt zeigt hier dieselbe Formation an wie bei den Proben — und +, nämlich unteren Diluvialsand. Es schien mir insofern nötig, auch die nicht analysierten Bodenprofile hier anzuführen und kurz zu skizzieren, weil damit ein Bild gegeben wird über die verschiedenen, auf der Friedrichsfelder Feldmark vorkommenden Bodenarten, die man zwar alle als Sandböden bezeichnen kann, die aber trotzdem ganz erhebliche Unterschiede in ihrer Zusammensetzung aufweisen. Es ist daher unmöglich, die bei der Vergleichung der Profile und auch später bei den Versuchen mit diesen Böden gefundenen Resultate auf alle Friedrichsfelder Böden, geschweige denn auf Rieselboden überhaupt zu verallgemeinern. Ich möchte schon hier erklären, daß alle Resultate, ohne daß ich es jedesmal betonen werde, nur auf den untersuchten Boden anwendbar sind, da ein anders zu-

sammengesetzter Boden auch andere Umsetzungen erleiden muß.

Zunächst wurden die drei aufgenommenen Profile der Schlämmanalyse nach Schlösing unterworfen. Der nach Thaer abgeschlämmte Sand wurde durch Sieben mit einem 0,5 mm und 0,2 mm Sieb auf seine Körnung untersucht. Die Schlösingsche Analyse wurde genau so angewandt, wie sie bei den Untersuchungen der Böden in der Umgegend von Berlin[9] durch Geheimrat Orth im agron.-pedol. Institut benutzt war, so daß die Resultate genannter Arbeit sehr gut zum Vergleich herangezogen werden können. Die Resultate sind aus Tabelle II ersichtlich.

Die Uebereinstimmung der gefundenen Zahlen von berieseltem und unberieseltem Boden beweist, daß die Böden zum Vergleich gut geeignet sind. Das Gerippe des Bodens, wie es durch die mechanische Analyse des Bodens charakterisiert wird, ist bei allen drei Böden dasselbe. Die kleinen Abweichungen, ausgeschlossen allerdings die der tonigen Teile des Untergrundes, sind auf Unregelmäßigkeiten im Boden zurückzuführen. Selbst die größte Abweichung, in der dritten Schicht, wo in der Körnung des Sandes zwischen den beiden berieselten Böden einerseits und dem unberieselten andererseits eine größere Differenz besteht, ist wohl nicht als ein Einfluß der Berieselung anzusehen. Auffallend ist der hohe Gehalt an Feinton und Eisen, der unsere Böden etwas über das Niveau der geringsten Sandböden hebt. Als geringe Sandböden sind sie charakterisiert durch die Körnung des Sandes. Ca. 90 % des Bodens stellt einen feinkörnigen, fast nur aus Quarz bestehenden Sand dar, der an Fruchtbarkeit weit zurücksteht hinter vielen Diluvialsanden mit einem größeren Gehalt an groben Körnern (2—0,5 mm)

9. Geheimrat Orth: Beiträge zur Kenntnis des Bodens der Umgegend von Berlin. Landwirtschaftl Jahrb., 38. Bd., 5. Ergänzungsband.

und einem damit parallel gehenden Reichtum an Feldspat und Calciumkarbonat. Vergleicht man die Böden mit den von Geheimrat Orth untersuchten[10], so findet man bei denjenigen Böden, die annähernd denselben Gehalt an Sand und Grand haben, z. B. VII. Ackerklasse Mahlsdorf, nicht annähernd den gleichen Gehalt an Feinton und Eisen. Es sind fast 3 % weniger als bei unseren Böden. Allerdings übertreffen der zuletzt genannte, wie überhaupt die zum Vergleich in Betracht kommenden Böden die von mir untersuchten durch ihren Gehalt an Quarzstaub. Wenn letzterer auch in der Darbietung von Pflanzennährstoffen infolge seiner Sterilität hinter dem Feinton und Eisen zurücksteht, so bietet er in physikalischer Beziehung zum Teil ähnliche Vorteile. Er erhöht ebenfalls die Wasserkapazität, indem er die großen Hohlräume des gröberen Sandes ausfüllt und dadurch das Wasserdurchlassungsvermögen herabsetzt. Die Summe Feinton + Eisen + Quarzstaub, kurzweg tonige Teile genannt, ist bei unseren Böden sogar etwas kleiner als die Summe bei denjenigen Böden, welche in der genannten Arbeit in die VII. Ackerklasse eingereiht sind. Der Grundwasserstand, der für diese Sandböden von außerordentlicher Wichtigkeit ist, ist bei genannten Böden in 1,65 m Tiefe angegeben, während er bei unseren Böden in 1,50 m Tiefe liegt.

Nach ganz anderen Gesichtspunkten betrachtet man den Boden, wenn man den Zweck, den er als Rieselboden erfüllen soll, ins Auge faßt. Die Porosität und daher große Durchlüftbarkeit unserer Böden, das Wasserdurchlassungsvermögen, die gleiche sandige Beschaffenheit bis 1,50 m Tiefe, welche die Drainage ersetzt, und daneben ein gewisser Gehalt an feintonigen Teilen sind ideale Vorbedingungen für einen Rieselboden.

Im großen und ganzen zeigt also die mechanische Analyse zwischen berieseltem und unberieseltem Boden keine

---

10. Geheimrat Orth: Beiträge zur Kenntnis etc.

Unterschiede. Eine Ausnahme machen die tonigen Teile, wie ich bereits oben andeutete, und zwar nicht in der Oberkrume, sondern nur im Untergrund. Da die Differenzen ziemlich erheblich sind und auch durch die Resultate der chemischen Analyse (Gehalt an Eisen und Aluminium) bestätigt werden, so kann man die Verarmung des Untergrundes an feintonigen Teilen nur als eine Folge der Berieselung ansehen. Bei der Besprechung der chemischen Analyse komme ich darauf zurück.

Die chemische Analyse wurde nach der im agronomisch-pedologischen Institut üblichen Methode ausgeführt. Der Feinboden (unter 1 mm) wurde mit 25 % Salzsäure drei Stunden auf dem Dampfbad aufgeschlossen, und in dem so gewonnenen salzsauren Bodenauszug wurden CaO, P_2O_5, K_2O, F_2O_3 und Al_2O_3 bestimmt. Der Gehalt an Humus wurde in der Weise ermittelt, daß von dem durch Verbrennung mit Kupferoxyd festgestellten Kohlenstoffgehalt des Bodens angenommen wurde, daß er 60 % des gesamten Humusgehalts darstellte. Die Stickstoffbestimmungen wurden nach Kjeldahl ausgeführt. Die Ammoniakabsorption wurde gefunden durch mehrstündiges Schütteln von 50 g Feinboden (unter 1 mm) mit einer NH_4Cl-Lösung. Die Resultate sind aus Tabelle III ersichtlich.

Sie stellen in vieler Beziehung eine Bestätigung schon bekannter Tatsachen dar. Der Humusgehalt der Oberkrume hat sich verdoppelt, während er in den unteren Schichten fast unverändert geblieben ist. Der 2 % betragende Gehalt, der bei ähnlichen Sandböden ausgeschlossen ist — in der Berliner Umgegend[11] findet man erst in der dritten Ackerklasse bei günstigen Feuchtigkeitsverhältnissen in den Profilen Lichtenberg und Friedrichsfelde einen solch hohen Humusgehalt —, ist recht charakteristisch für Rieselboden. Die schwarze Färbung der Oberkrume, hervorgerufen durch

11. Geheimrat Orth: Beiträge zur Kenntnis etc.

die Vermengung der suspendierten Teilchen der Jauche mit dem Sande, die sich an der Oberfläche absetzen und durch die Kultur mit der ganzen Ackerkrume vermischt werden, ist bereits dem bloßen Auge sichtbar. Der vermehrte Humusgehalt des Rieselbodens steigert den Wert des Bodens durch Erhöhung der Wasserkapazität und Erwärmungsfähigkeit, wenn man von der Benutzung zu Rieselzwecken absieht. Leider ist sie allerdings auch die Ursache für starke Unkrautwüchsigkeit. Für die Zwecke der Berieselung sind nachteilige Folgen durch den erhöhten Humusgehalt noch nicht beobachtet worden.

Parallel damit hat sich auch der Gesamtstickstoffgehalt des Bodens in der Oberkrume verdoppelt. Da der Gehalt an Ammoniak- und Salpetersäurestickstoff nur etwa den zehnten Teil des Gesamtstickstoffs beträgt und auch keine merklichen Veränderungen der letztgenannten Stickstoffmodifikationen festzustellen waren, so ist die Erhöhung des Stickstoffgehaltes nur dem organischen Stickstoff gutzuschreiben. Ein über 0,1 % betragender N-Gehalt ist nur bei besseren Böden zu finden, in der Umgegend von Berlin[12] erst in der III. Ackerklasse, Friedrichsfelde und Lichtenberg. Dem Gehalt an Ammoniak- und Salpetersäurestickstoff ist nicht zu viel Bedeutung einzuräumen, da er von allen Bestandteilen des Bodens den größten Schwankungen unterworfen ist und bei jeder Bodenaufnahme verschiedene Resultate zeitigen wird.

Während Humus- und Stickstoffgehalt nur in der Oberkrume Veränderungen zeigten, in den unteren Schichten dagegen keine wesentlichen Veränderungen aufwiesen, hat sich der Gehalt an Eisen und Aluminium umgekehrt im Untergrund, nicht dagegen in der Oberkrume geändert. Und zwar sind die Unterschiede so stark, daß sie, wie oben ausgeführt, auch schon in der mechanischen Analyse zum Ausdruck

12. Geheimrat Orth: Beiträge zur Kenntnis etc.

kommen. Die Verarmung des Rieselbodens an Fe und Al scheint in einem bestimmten Verhältnis zwischen Fe und Al vorgeschritten zu sein. Vergleicht man die zweite Bodenschicht des Profils $\mathcal{A}$ mit der des Profils —, so findet man, daß auf einen Gewichtsteil ausgewaschenes Fe_2O_3 2,37 Teile ausgewaschenes Al_2O_3 kommen. Wie der Vergleich von Untergrund + mit Untergrund $\mathcal{A}$ ergibt, sind auf Rieselboden + 250 Gewichtsteile Fe_2O_3 ausgewaschen. Falls eine Gesetzmäßigkeit besteht, müßten demnach 250 mal 2,37 = 595 Teile Al_2O_3 ausgewaschen sein. Tatsächlich sind es 671. Es sind also hier auf 1 Teil Fe_2O_3 2,68 Teile Al_2O_3 gekommen. Die geringe Differenz erklärt sich leicht aus Unregelmäßigkeiten im Boden. Man kann eben von der Natur nicht die Exaktheit des Analytikers verlangen, bei dem man die Uebereinstimmung bis in die zweite Dezimale voraussetzt. Die stärkere Berieselung des Bodens ⌐, die ich oben andeutete, käme also in der stärkeren Auswaschung der tonigen Teile zum Ausdruck. Die auffallende Tatsache, daß der Untergrund, etwa in der Tiefe von 35—60 cm, an tonigen Teilen verarmt, während die Oberkrume und auch der tiefere Untergrund 60—100 cm keine Veränderung zeigt, kann man sich damit erklären, daß die Jauche, die beim Eintritt in den Boden alkalisch reagiert, da die basischen Bestandteile dominieren, im Boden das Verhältnis zwischen Basen und Säuren allmählich zugunsten der Säuren verändert; denn das austretende Drainwasser reagiert sauer. Es liegt auf der Hand, daß bei dem allmählichen Verlauf des Prozesses die erste Strecke im Boden noch in alkalischem Zustand zurückgelegt wird. So fand ich bei den weiter unten zu beschreibenden Filtrierversuchen mit Jauche, daß dieselbe nach Passieren einer 35 cm tiefen, also der Oberkrume entsprechenden Bodenschicht, wenn auch ganz schwach, noch alkalisch reagierte. Die früher herrschende Annahme, daß der Abbau von organischem Stickstoff zu Ammoniak nicht gleichzeitig neben dem Nitrifikationsprozeß, der Um-

wandlung von Ammoniak zu Salpetersäure, vor sich gehen könne, die die beste Erklärung abgebe, indem die alkalische Oberkrume denjenigen Bakterien, die den organischen Stickstoff zu Ammoniak abbauen, der saure Untergrund den Nitrifikationsbakterien eingeräumt würde, ist von den meisten Forschern, wenn auch nicht fallen gelassen, so doch in ihrer Bedeutung eingeschränkt worden. So mußte ich ja selbst bei der Analyse in der Oberkrume 0,007 % Salpetersäurestickstoff feststellen. Immerhin ist anzunehmen, daß die Salpetersäurebildung und auch die der anderen Säuren im Untergrund stärker ist als in der Oberkrume, da doch sonst die Jauche nicht die saure Reaktion nach Passieren der tieferen Schichten zeigen würde. Ueber das Verhalten der entstehenden Säuren schreibt König in einer Arbeit „Ueber die Veränderungen und Wirkungen des Rieselwassers bei der Berieselung“[13]: „Von der lösenden Wirkung der überschüssigen Salpetersäure wird in erster Linie der überschüssige Kalk betroffen, aber mit der steigenden Menge an Salpetersäure zeigt sich im Drainwasser eine größere Menge Kalis.“ Wie aus der Tabelle hervorgeht, haben CaO und K_2O ihren Gehalt in der Oberkrume nicht unbedeutend erhöht, im Untergrund dagegen nicht verändert. Ich möchte diese Tatsache als Beweis dafür anführen, daß selbst, wenn in der Oberkrume größere Mengen Salpetersäure entstünden, nicht bloß genügend, sondern sogar ein Ueberschuß von basischen Bestandteilen zur Bindung vorhanden ist. Anders im Untergrund. Hier tritt dieselbe Erscheinung ein, die im Laufe langer Zeiten zunächst die Entkalkung und danach die Auswaschung der tonigen Teile auf dem Diluvialsande der norddeutschen Tiefebene hervorgerufen hat[14]. Da der Kalk nicht ausreicht zur Bindung — es fehlt in dieser Schicht auch der durch die suspendierten Teilchen aufgebrachte, nur der

13. Landwirtsch. Jahrb. 1893.
14. Geheimrat Orth: Kalk- und Mergeldüngung.

Oberkrume zugute kommende ungelöste Kalk der Jauche —, gehen die freien Säuren an die Bestandteile des Bodens, Eisen und Aluminium, an denen gerade diese Schicht reich ist. (0,586 % Fe_2O_3 und 1,145 % Al_2O_3). Die darunter liegende Schicht von 60 bis 100 cm mit einem Gehalt von 0,291 % Fe_2O_3 und 0,340 % Al_2O_3 ist vielleicht zu arm, um von ihrem Bestand abgeben zu können, oder die Jauche hat bis zu der Tiefe von 60 cm den größten Teil der Säuren gebunden. Markant war der Unterschied der roten Farbe des Untergrundes von 35—60 cm gegen die weiße Farbe der nächsten Schicht von 60—100 cm im Profil des unberieselten Bodens. Jedenfalls fehlen hierüber noch Untersuchungen, doch würde die Verfolgung der Jauche durch die einzelnen Bodenschichten eine sehr interessante Aufgabe darstellen.

Nun ist ja die Bewegung des Eisens im Rieselboden schon mehrfach festgestellt worden; allerdings konnte ich keine Angaben über verschiedenes Verhalten der einzelnen Bodenschichten finden. Die Erklärung, die man für die Bewegung des Eisens gibt, ist folgende: Die organischen oxydationsfähigen Stoffe der Jauche, bestehend aus C, H, N und S entreißen der Umgebung Sauerstoff, um sich selbst damit zu bereichern, und leiten so Reduktionsprozesse ein. Dabei wird auch Eisen reduziert und, da sich im Boden reichlich Kohlensäure findet, geht es als Eisenoxydulbikarbonat in Lösung. Nach neueren Anschauungen ist die Reduktion dazu gar nicht nötig, sondern, wie Professor Albert in einer Arbeit „Beitrag zur Kenntnis der Ortsteinbildung“[15] ausführt, kann Eisen auch bei Anwesenheit löslicher organischer Substanz als Oxyd in Form kolloidaler Lösung fortgeführt werden. Bei diesem Vorgang sollen die Tonerdeverbindungen in noch höherem Maße beteiligt sein. Die Voraussetzung für die Bewegung von Eisen und Aluminium

15. Zeitschr. f. Forst- und Jagdwesen. 42. Jahrg., 6. Heft, Juni 1910.

sieht Professor Albert in der vorhergehenden Auslaugung von Kalk und Magnesia. In diesem Punkte stimmt also die neue Theorie mit der alten überein. Nun wird, wie schon ausgeführt, die Oberkrume des Rieselbodens nicht ausgelaugt, im Gegenteil findet eine Zunahme an Kalk statt, während der Untergrund seinen geringen Kalkgehalt von 0,034 %, der aller Wahrscheinlichkeit nach aus schwer löslichem Silikatkalk besteht, unverändert beibehalten hat. Die beobachtete Eisenbewegung wäre also genügend erklärt. Unwillkürlich drängt sich die Frage nach dem Verbleib des Eisens auf. Von mehreren Analytikern ist Eisen im Drainwasser der Rieselböden festgestellt worden. Wie schon oben angedeutet, fand Klopsch 0,901 mg im Liter, die er für ausgewaschenes Bodeneisen erklärt, weil das in der Jauche enthaltene unlöslich ist und sich deshalb vor dem Durchtritt der Jauche durch den Boden absetzt. Auch im Berliner Drainwasser ist Eisen festgestellt worden, und ist das Auftreten eines sehr lästigen Pilzes — Leptomitus —, welcher in dichten, filzartigen Büscheln und Zöpfen wuchert, auf stark eisenhaltiges Wasser zurückzuführen. Das Eisen kann sich aber auch schon im Boden aus der kolloidalen Lösung durch äußere Anlässe, wie Temperatur- oder Konzentrationsänderung, in alkali-, besonders kalkreichen Schichten wieder ausscheiden. So beobachtete ich im Untergrund des Rieselbodens zunächst unter der Oberkrume eine weiße Sandschicht, die dem Auge fast eisenfrei zu sein scheint, darunter eine unregelmäßig mit roten Eisenflecken durchsetzte, welche zum Teil auch feste Eisensandstreifen aufwies. Da die merkwürdige Eisenbewegung bei meinen Profilen eine zufällige sein konnte, hatte ich am 26. März 1910 nochmals 6 Profile aufgenommen, 3 von unberieseltem, 3 von berieseltem Felde. Dabei zeigten sich, dem bloßen Auge sichtbar, dieselben Erscheinungen in bezug auf die Eisenbewegung wie bei den zuerst aufgenommenen Profilen. Verschweigen darf ich jedoch nicht, daß der Untergrund

eines der unberieselten Böden ebenfalls charakteristische Merkmale für in Bewegung befindliches Eisen zeigte.

Nach der Feststellung der Tatsache der Eisenbewegung und ihrer Erklärung möchte ich noch einiges über ihre Bedeutung hinzufügen. Daß dieselbe schon frühzeitig erkannt ist, geht aus folgendem Ausspruch Geheimrat Orths hervor gelegentlich der Verhandlungen der Deutschen Gesellschaft für öffentliche Gesundheitspflege zu Berlin über Kanalisation und Berieselung[16]: „Das Eisen hat offenbar im Boden eine nicht geringe verdauende Wirkung, indem es auf die Oxydation von organischen Stoffen hinwirkt.“ Mit dem Verlust des Eisens trete nämlich auch ein solcher an zeolithischen Verbindungen ein, welche als die Hauptträger der Absorption anzusehen sind. Nun ist es sehr schwer, analytisch den Verlust der Zeolithe nachzuweisen, leichter ist es, aus den Folgen desselben, nämlich dem Abnehmen der Absorption, Rückschlüsse auf ihren Verlust zu ziehen. Ich kann schon hier bemerken, daß ich selbst in der Oberkrume des Rieselbodens, wo ich gar keinen Verlust an tonigen Teilen nachweisen konnte, bei Filtrierversuchen Resultate erhielt, zu deren Erklärung man die Abnahme der Absorptionsträger annehmen muß. Doch darüber unten mehr. Ich möchte hier nur auf die Bedeutung dieser Erscheinung gerade für die leichten Sandböden hinweisen. Heutzutage, wo die Ergänzung der Pflanzennährstoffe durch Anwendung des künstlichen Düngers verhältnismäßig leicht ist, wo man die physikalischen Eigenschaften des Bodens wieder in den Vordergrund zu stellen beginnt, wird man eine Anreicherung des Sandbodens mit Pflanzennährstoffen und Humus, wenn sie auf Konto der tonigen Teile und der Absorptionsträger vor sich geht, kaum als eine Verbesserung des Bodens ansehen können. Die Lebensfrage des Sandbodens ist der

16. Festgabe für die X. Versammlung des Deutschen Vereins für öffentliche Gesundheitspflege.

Gehalt an tonigen Teilen. Und wenn ich die Abnahme derselben auch nur im Untergrund nachweisen konnte, so ist sie ohne Zweifel doch als eine gewisse Wertverminderung des Bodens anzusehen.

Die Pflanzennährstoffe haben im Gegensatz dazu, wie ich bereits mehrfach erwähnt habe, eine Zunahme erfahren, und zwar die größte von ihnen die Phosphorsäure. Es hängt dies mit der überaus starken Absorptionsfähigkeit des Bodens für Phosphorsäure zusammen, die nur Spuren der zugeführten Phosphorsäure in das Grundwasser versickern läßt. Durch Versuche des Kaiser Wilhelm-Instituts in Bromberg[17] ist nachgewiesen, daß selbst auf den ärmsten Sandböden keine Auswaschung der Phosphorsäure stattfindet. Es müssen außer den gewöhnlichen Trägern der Phosphorsäureabsorption, den Basen von Kalk, Eisen, Aluminium im Boden noch Kräfte vorhanden sein, welche Phosphorsäure binden können. Gelegentlich eines von Dr. Hahn über „Anwendung der Brandwirtschaft in der Ackerkultur“ im Klub der Landwirte gehaltenen Vortrags erwähnte Geheimrat Fleischer in der Diskussion, daß an Phosphorsäure reiche Moore erst nach Trockenlegung, sei es durch Entwässerung, sei es durch Brennen, diesen Nährstoff den Pflanzen zur Verfügung stellen. Er folgerte daraus, daß nur die Kolloide im Boden eine derartig innige Verbindung mit Phosphorsäure eingehen könnten. Damit stimmt die Phosphorsäuredüngung in der Praxis überein, die in vielen Fällen als Vorratsdüngung gegeben wird. Professor Wagner hat die Wirkung der Phosphorsäuredüngung bis ins zehnte Jahr nachgewiesen[18]. Der an Phosphorsäure arme Boden hat sich also dermaßen mit Phosphorsäure angereichert, daß er bei weitem den Gehalt eines guten Mittel-

17. Dieselben wurden einer Exkursion der Landwirtschaftlichen Hochschule zu Berlin unter Führung von Geheimrat Orth demonstriert.

18. Professor Wagner, Anwendung künstlicher Düngemittel.

bodens, unter dem man einen solchen mit 0,1 % Phosphorsäure versteht, übertrifft. Der höchste Phosphorsäuregehalt der von Geheimrat Orth untersuchten Berliner Böden[19] betrug 0,12 % (III. Ackerklasse, Profil Friedrichsfelde). Infolge des hohen Phosphorsäuregehalts erübrigt sich eine Zufuhr von phorphorsäurehaltigen Düngemitteln, wie auch Versuche auf den Berliner Rieselfeldern bestätigt haben. In Friedrichsfelde wird allerdings auf denjenigen Rieselfeldern, die nur 33 cm Spüljauche jährlich erhalten, mit 6 Zentner Thomasmehl pro Hektar gedüngt, nach Aussage des Administrators mit Erfolg. Freilich ist es nicht ausgeschlossen, daß der Gehalt des Thomasmehls an Kalk, der 50 % beträgt, den Erfolg herbeiführt. Die Anreicherung an Phosphorsäure läßt sich im Gegensatz zu den anderen Nährstoffen bis zu einer Tiefe von 1 m nachweisen.

Der Gehalt des Bodens an Kali hat sich in der Oberkrume verdoppelt, während in den unteren Schichten keine nennenswerten Veränderungen vor sich gegangen sind. Aus dem kaliarmen Boden ist ein Boden mit gutem Durchschnittsgehalt geworden, als welchen man 0,1 % Kali bezeichnet. Der Vergleich der Jauche- und Drainwasseranalysen ergibt, daß der größere Teil des Jauchekalis vom Boden absorbiert wird. Es läßt sich trotzdem schwer sagen, ob die Anreicherung des Bodens der Absorption des in der Jauche gelösten Kalis oder dem Absitzen der suspendierten Teilchen und allmählichen Verteilung derselben in der Ackerkrume zuzuschreiben ist. Da auch die Möglichkeit besteht, daß die Anreicherung nur eine scheinbare ist, daß in Wirklichkeit von dem Gesamtkaligehalt des Bodens nur ein größerer Teil in Salzsäure löslich geworden ist, ohne daß sich der Gesamtgehalt geändert hat, so habe ich den Gesamtkaligehalt der drei Böden in der Oberkrume durch Aufschließen mit Flußsäure bestimmt.

---

19. Geheimrat Orth: Beitrag zur Kenntnis etc.

	Boden ⊿ unberieselt	Boden + berieselt	Boden — berieselt
Aufschluß mit HF:	1,05 %	0,92 %	1,14 %
	1,19 %	—,—	0,92 %
Aufschluß mit HCl:	0,043 %	0,098 %	0,094 %
	0,043 %	0,098 %	0,091 %

Die gefundenen Zahlen sind leider ungeeignet, die gestellte Frage zu beantworten. Es war mir nicht möglich, so genau zu arbeiten, daß die Differenz von ca. 0,05 % K_2O zwischen unberieseltem und Rieselboden, welche der Salzsäureaufschluß ergeben hatte, nicht innerhalb der Fehlergrenze bei den Flußsäureaufschlüssen lag. Die Schwierigkeit liegt in dem verhältnismäßig, im Vergleich zu der verschiedenen Zusammensetzung des Bodens, so überaus winzigen Bodenquantum, das bei den Flußsäureaufschlüssen zur Anwendung kommt, nämlich 3 g. Denn einige Kalifeldspate mehr oder weniger in den genommenen Proben beeinflussen natürlich erheblich das Resultat. Vielleicht gelangt man zu besseren Resultaten, wenn man ein größeres Bodenquantum, etwa 50—100 g, fein zerreibt und recht sorgfältig durchmischt und von diesem Gemisch zwei Proben à 3 g zur Untersuchung entnimmt. Die Frage muß also vorläufig offen bleiben. Die Anreicherung des Bodens mit Kali ist übrigens auch von Professor Herzfeld auf den Berliner Rieselfeldern nachgewiesen worden[20]. Zufuhr von Kali auf Rieselboden soll keine Erhöhung der Erträge herbeigeführt haben. In Friedrichsfelde wird allerdings der schwach berieselte Boden (jährlich 33 cm) mit 1 Ztr. 40 % Kalisalz jährlich gedüngt.

Bevor ich auf die Veränderung des letzten Pflanzennährstoffes, des Kalkes, zu sprechen komme, den ich nach seiner

---

20. Hans Grandke, Die Rieselfelder von Berlin und die Spüljauche, 1892.

Bedeutung auf Rieselboden am eingehendsten behandeln werde, möchte ich noch einige Erläuterungen zu den Stickstoffabsorptionszahlen geben. Auffallend ist der außerordentlich geringe Absorptionsfaktor in allen drei Profilen. Vergleicht man selbst den geringsten der von Geheimrat Orth untersuchten Böden[21] damit, so findet man dort trotzdem noch höhere Zahlen. Profil Bernau (VIII. Ackerklasse) ergab folgende Absorptionszahlen: 0—16 cm 78 g, bis 55 cm 86 g, bis 1,45 m 89,2 g, bis 1,65 m 80,8 g, bis 2 m 89,2 g. Zum Vergleich wurde mir auch von Herrn Geheimrat Orth ein großes, noch nicht veröffentlichtes analytisches Material zur Verfügung gestellt. Sämtliche darin angeführten Sandböden übertrafen an Absorptionskraft ganz erheblich die von mir untersuchten. Die geringen Unterschiede, die ich zwischen berieseltem und unberieseltem Boden fand, überschreiten nicht das Dreifache des wahrscheinlichen Fehlers, berechtigen also zu keinerlei Schlüssen. Die Methode ist eben als vergleichende nur anwendbar, wenn es sich um Böden mit starker Absorptionskraft handelt. Wenn ich aber 50 g Boden mit 100 ccm NH_4Cl-Lösung schüttele, in denen 128 mg N enthalten sind, und durch Absorption zurückgehalten finde: im unberieselten Boden 2,1 mg N, in dem einen berieselten 1,8 mg N und in dem anderen berieselten 2,3 mg N, so kann ich keine Schlüsse ziehen, da das Bodenquantum zu klein ist in Anbetracht der geringen Absorption. Um vergleichbare Zahlen zu erhalten, müßte man größere Bodenmengen schütteln, und, da dies technisch schwierig ist, so bleibt nichts anderes übrig, als den Boden in große Zylinder zu bringen, die Nährstofflösung langsam durchfiltrieren zu lassen und auf diese Weise eine innige Berührung aller Bodenteilchen mit der Lösung zu erzielen. Nun habe ich diesen Versuch nicht für Ammoniak, sondern für Kalk ausgeführt. Die Absorptionsversuche mit Kalk schienen mir von

21. Geheimrat Orth: Beiträge zur Kenntnis etc.

größerer praktischer Bedeutung zu sein, da der Kalk als einziger Nährstoff auf Rieselboden zu fehlen scheint, während alle anderen Nährstoffe sogar im Ueberschuß vorhanden sind. Als Beweis dafür führe ich den Erfolg der Kalkdüngung auf Rieselboden an, der sowohl von den Praktikern[22], als auch von wissenschaftlicher Seite[23] bestätigt wird, ferner die Kalkarmut des Rieselgrases, über die Professor Ehrenberg eingehende Untersuchungen angestellt hat[24]. Ehrenberg fand bei der Analyse von Rieselgras, welches den verschiedensten Feldern (Berlin-Malchow, Danzig-Heubude, Breslau-Ransern) entnommen war, daß der Kalkgehalt des Rieselgrases geringer sei als der von gewöhnlichem Gras, daß man aber durch Düngung mit Kalk wieder den normalen Kalkgehalt erhält. Er fand bei seinen Düngungsversuchen im Durchschnitt für nicht mit Kalk gedüngtes Rieselheu: 0,41 % CaO und 1,09 % P_2O_5, für ungedüngtes Naturheu 0,81 % CaO und 0,54 % P_2O_5. Durch Düngung mit Kalk stieg der Kalkgehalt des Rieselheus auf ca. 1 % CaO, während der Kalkgehalt des Naturheus durch die Kalkgabe wenig beeinflußt wurde. Den Unterschied seiner Analysen gegen die von Professor Alexander Müller ausgeführten, welche hohe Kalkzahlen, über 1 % CaO in der lufttrockenen Substanz des Rieselheues, ergaben, begründet er damit, daß Müllers Heu erst kurze Zeit berieselten Wiesen entnommen sei. Für Kali und Natron fand er in der Grastrockensubstanz, für Rieselheu 3,94 % K_2O, 0,75 % Na_2O, für Naturheu 0,76 % K_2O, 0,42 % Na_2O. Das Resultat der Versuche mußte also um so mehr befremden, als alle anderen Nährstoffe im Riesel-

---

22. Mitteilungen der D. L. G. 1904, S. 129. Verfasser: Administrator Järschky-Falkenberg.

23. König: Die Verunreinigung der Gewässer, deren schädliche Folgen etc.

24. Weitere Mitteilungen über die Zusammensetzung des Heues von Spüljaucherieselwiesen. Landw. Versuchsstationen, 1909, Bd. 70, S. 263.

gras weit stärker als im gewöhnlichen Gras vertreten sind. Nun benutzt man ja die Analyse der Pflanzenasche vielfach, um das Düngebedürfnis eines Bodens festzustellen, wenn die Analyse extreme Zahlen ergibt. Ehrenberg schloß daher, daß dem Rieselboden Kalk fehlt, und als Ursache gab er die Auswaschung des Bodenkalkes, hauptsächlich als doppeltkohlensauren Kalk, durch das Rieselwasser resp. die Verarmung des Bodens an Kalk durch Basenaustausch an. Er stützt sich u. a. auch auf die Jauche- und Drainwasseranalysen von Klopsch, welche, wie oben ausgeführt, ein bedeutendes Plus an Kalk im Drainwasser und einen großen Gehalt an Kohlensäure anzeigten. Auch hatte er in nassen Jahren kleinere Kalkzahlen als in trockenen gefunden. Leider macht Professor Ehrenberg keine Angaben über die botanische Analyse der Gräser. Der Gehalt der verschiedenen Gräser an Kalk ist wechselnd, so daß man, um Natur- und Rieselheu vergleichen zu können, gleiche Gräser anbauen muß. Als Beweis dafür berufe ich mich auf die Aschenanalysen von Wolff und führe einige Kalkanalysen von Professor Stutzer an[25]:

	% CaO	% H_2O
Wiesenheu	0,95	14,3
Marschheu	0,72	15,0
Spüljauchenrieselgras	0,95	16,0
Engl. Raygras	0,43	14,3
Knaulgras	0,31	14,3

Die Zahlen sind auf lufttrockene Substanz berechnet. Ich möchte hier auch eine von mir ausgeführte Analyse von Friedrichsfelder Rieselgras hinzufügen, welche auf absolut trockene Substanz berechnet 0,76 % CaO ergab. Die von Professor Stutzer angeführten Zahlen müssen zum Vergleich damit ebenfalls auf absolut trockene Substanz umgerechnet

25. Landw. Kalender von Mentzel und Lengerke, I. Teil.

werden. Man findet dann z. B. für Spüljauchenrieselgras 1,15 % CaO. Was nun die zu Rieselzwecken benutzten Gräser anbetrifft, so wird zwar das italienische Raygras besonders bevorzugt und fast ausschließlich angebaut. Es liegt trotzdem der Gedanke nahe, daß die Kalkarmut des von Ehrenberg untersuchten Rieselgrases auch in der Verschiedenheit der Gräser ihre Ursache hat. Auch die Beschaffenheit des Grases, die mehr oder weniger vorgeschrittene Verholzung der Stengel, die Zeit der Vegetation beeinflussen den Kalkgehalt des Grases[26]. Die Zahlen sind daher mit Vorsicht aufzunehmen. Frappierend sind allerdings die Erfolge der Kalkdüngung auf die Zusammensetzung des Rieselheus, die nur auf Rieselwiesen, nicht aber auf Naturwiesen festgestellt waren.

In Ehrenbergs Theorie paßt nun aber nicht die Tatsache, daß der Rieselboden mit der Zeit nicht an Kalk verarmt, sondern zunimmt. Wie die Tabelle zeigt, hat sich auch bei unseren Böden der Kalkgehalt erheblich verbessert. Nun wäre es ja möglich, daß der Rieselboden sich an schwer löslichem Kalk bereichert hätte, da er doch nicht bloß den gelösten Kalk der Spüljauche, sondern auch den der suspendierten Teilchen erhält. Bekanntlich wird der abgesetzte Schlick nur zum Teil von den Rieselfeldern entfernt. Der Rest wird durch Pflügen, Eggen und Grubbern innig mit der Ackerkrume vermengt und muß den Kalkgehalt des Bodens erhöhen. Die Kalkverbindungen, die dabei in Frage kämen, wären Tricalciumphosphat, eventuell auch Dicalciumphosphat, humussaurer, fettsaurer oder an andere organische Säuren gebundener Kalk. Um mich über die Löslichkeit des Kalkes auf Rieselboden zu orientieren, schloß ich die drei Oberkrumen mit 2 % Zitronensäure auf, fand aber, daß der Rieselboden auch an zitronensäurelöslichem Kalk dem unbe-

26. cf. Euler: Grundlagen und Ergebnisse der Pflanzenchemie.

rieselten überlegen ist, und zwar in gleichem Verhältnis wie an salzsäurelöslichem Kalk.

Auch mit Flußsäure resp. Natriumkarbonat wurden die drei Böden aufgeschlossen, um die Zunahme an Kalk eventuell aus der teilweisen Aufschließung des schwer löslichen Gesamtkalkgehalts zu erklären. Dieser Versuch scheiterte an den oben bei Besprechung des Kalis geschilderten Vorgängen. Die Resultate der Aufschlüsse waren folgende:

Aufschluß mit	Boden Δ	Boden +	Boden —
HF resp. Na_2CO_3	0,241 %	0,220 %	0,221 %
	0,238 %	0,237 %	0,250 %
			0,203 %
			0,258 %
			0,258 %
HCl	0,045 %	0,113 %	0,094 %
	0,045 %	0,101 %	0,092 %
2 % Zitronensäure	0,020 %	0,055 %	0,058 %
	0,019 %	0,055 %	0,058 %

Ich verzichtete nunmehr, eine Erklärung für den von Ehrenberg angedeuteten Widerspruch, der in der Auslaugung des Bodens an Kalk einerseits, wie sie durch die Analyse der Jauche und des Drainwassers bewiesen ist, und in der Anreicherung des Bodens an Kalk andererseits liegt, zu finden. Denn selbst, wenn die Jauche- und Drainwasserzahlen vergleichbar sein sollten, so bleibt doch der ungelöste Kalk der suspendierten Teilchen unberücksichtigt, der mit der Zeit ebenfalls in Lösung geht und es unmöglich macht, aus der Differenz von Jauche- und Drainwasser auf die Veränderung des Bodens Schlüsse zu ziehen.

Da nun trotz der Anreicherung des Rieselbodens an Kalk die Tatsache der Kalkarmut bestehen bleibt, so versuchte ich, auf experimentellem Wege das Verhalten des Bodens zum gelösten Kalk der Jauche zu studieren, da

letzterer doch hauptsächlich für die Ernährung der Pflanzen in Betracht kommt. Die Aufgabe, die ich mir damit stelle, umfaßt zwei verschiedene Fragen, die einzeln erst beantwortet werden müssen, ehe man das Ganze verstehen kann. Denn wenn man Jauche und Drainwasser vergleicht und aus den gefundenen Kalkzahlen Schlüsse auf die Auslaugung des Bodens ziehen will, so muß man sich darüber klar sein, daß die Zahlen die Resultate zweier ganz verschiedener Prozesse darstellen. Von dem mit der Jauche in den Boden gebrachten Kalk wird nämlich zunächst ein Teil absorbiert, während durch die auftretenden Säuren, vorzugsweise Salpetersäure, Kalk ausgewaschen wird. Diese beiden Prozesse zusammen ergeben das Resultat der Drainwasseranalyse. Nun ist der Prozeß der Absorption von der größten Wichtigkeit für die Ernährung der Pflanzen. Was die Pflanzenwurzel nicht direkt aus der vom Boden festgehaltenen Spüljauche aufsaugt, das kann sie nur von den durch Absorption festgehaltenen Nährstoffen aufnehmen. Ich stellte mir daher nunmehr die Aufgabe, die Absorption des unberieselten und berieselten Bodens für Kalk zu bestimmen. Als Resultat der Versuche ergab sich, daß durch Berieselung die Absorptionskraft meines früher charakterisierten Sandbodens für Kalk geringer wird, daß ferner bei der Zugabe von Kalk das größte Gewicht auf die Form des Kalkes gelegt werden muß, wenn man große Verluste vermeiden will, daß endlich der jahrelang berieselte Boden trotz seines erhöhten Kalkgehaltes gegenüber dem jungfräulichen Boden, mit dessen Berieselung man beginnt, nicht ein derartiges Quantum von in kohlensäurehaltigem Wasser löslichem Kalk aufweisen kann, daß er den großen Mehranforderungen an Kalk entsprechen könnte, welche die Mehrernten der Rieselwiesen stellen. Auch auf die Form des in der Jauche gelösten Kalkes lassen sich aus den Versuchen Schlüsse ziehen.

Nun habe ich zu diesen Versuchen zwei Böden benutzt, einen unberieselten und einen berieselten. Den Mangel an

Materialfülle glaube ich durch die gute Auswahl der in Vergleich zu ziehenden Bodenproben gut gemacht zu haben, da ich das Bodenmaterial zu den Versuchen an denselben Stellen aufnahm, von denen ich das Material zu den vergleichenden Bodenanalysen gewonnen hatte. Die letzteren hatten aber all die charakteristischen Unterschiede ergeben, die die Berieselung hervorruft. Außerdem war die ursprünglich gleiche Beschaffenheit des Bodens sicher. Es liegt mir fern, aus diesem verhältnismäßig geringen analytischen Material allgemeingültige Schlüsse zu ziehen. Es sollen meine Resultate lediglich für meinen Friedrichsfelder Boden oder für physikalisch und chemisch ähnlich zusammengesetzte Böden Geltung haben. Die Versuchsanordnung, in der ich mich hauptsächlich nach der von Dr. Blank[27] angegebenen richtete, war folgende:

In ca. 40 cm hohen Zylindern mit einem Durchmesser von 8,5 cm, oben offen, unten geschlossen bis auf eine ca. 4 mm starke Durchbohrung, wurde der Boden des Zylinders mit Glaswolle, diese wiederum mit 80 g Glasperlen belegt, um die Filtrierfläche zu vergrößern. Ueber die Glasperlen wurde ein genau eingepaßtes Filterpapier gelegt, um das Auswaschen von erdigen Bestandteilen zu verhindern. Ueber das Filterpapier wurden $2^1/_2$ kg lufttrockener Boden gefüllt bis zu einer Höhe von ca. 35 cm. Um die Lagerung möglichst den natürlichen Verhältnissen anzupassen, wurden die Zylinder während des Einschüttens fortwährend auf die Tischplatte aufgestoßen, wodurch sich der Boden fest zusammensetzte. Da der Rieselboden spezifisch leichter ist als der unberieselte, so nahm er auch ein etwas größeres Volumen ein als der unberieselte. Praktisch wichtig bei der Einfüllung des Bodens ist es, den lufttrockenen Boden nicht gleich in die Zylinder zu füllen, sondern vor dem Einfüllen

27. Dr. Blank: Der Einfluß künstlicher Düngemittel auf die Bewegung des Wassers im Boden. Landw. Jahrbücher 1909.

einen Teil des aufzugießenden Jauchequantums zum Anfeuchten des Bodens zu benutzen. Infolge des größeren Humusgehalts nimmt speziell der Rieselboden im lufttrockenen Zustand sehr schwer die Jauche an. Infolgedessen können leicht einige Stellen des Zylinders während des ganzen Versuches trocken bleiben, wodurch man natürlich falsche Resultate erhalten würde. Durch die Oeffnung des Zylinderbodens hing ein Wollfaden, welcher die austretende Flüssigkeit in ein unter dem Zylinder aufgestelltes Sammelgefäß tropfen ließ. Es wurde nun so lange Spüljauche auf jeden Zylinder gegossen, bis der erste Tropfen am Wollfaden erschien als Zeichen dafür, daß der Boden nicht mehr Flüssigkeit aufnehmen konnte. Dabei stellte es sich heraus, daß der unberieselte und der Rieselboden ca. 750 ccm Wasser faßten. Ich möchte aber von diesen Zahlen zur Vergleichung der Wasserkapazität keinen Gebrauch machen, da die Struktur und die Lagerungsverhältnisse in der Natur doch andere sind. Im übrigen ist es ja erwiesen, daß die Wasserkapazität des Bodens durch Berieselung größer wird. Außerdem ist die gefundene Zahl gar nicht als Wasserkapazität anzusehen. Man unterscheidet bekanntlich eine absolute (kleinste) und eine volle (größte) Wasserkapazität. Bei meinen Versuchen war der Boden voll gesättigt, es lagen doch aber nur ungefähr die Voraussetzungen für die sogenannte volle Wasserkapazität vor. Wenn 750 ccm von $2^1/_2$ kg Boden festgehalten werden, so entspricht dies einer Kapazität von 30 Gewichtprozenten, während man gewöhnlich für Quarzsand als volle Wasserkapazität $25\,^0/_0$ annimmt. Die Ueberschreitung der vollen Wasserkapazität geht natürlich auf Kosten des Porenvolumens und der darin enthaltenen Luft. Die aufgegossenen 750 ccm blieben einige Zeit mit dem Boden in Berührung und wurden dann durch einen neuen Aufguß von 750 ccm verdrängt. Ich benutzte diese Verdrängungsmethode absichtlich, weil es mir sonst nicht möglich gewesen wäre, die vom Boden festgehaltene Jauchemenge als Filtrat vollständig zu erhalten.

Der eventuelle Einwurf, daß die Verdrängung der Bodenlösung auch durch destilliertes Wasser hätte geschehen können, muß zurückgewiesen werden auf Grund des Gesetzes, daß durch sehr salzarme Wasser, wie es das destillierte Wasser doch ist, schon einmal absorbierte Stoffe, in diesem Falle Kalk, wieder in Lösung übergeführt werden können, so daß dieser Kalk eine ständige Fehlerquelle bilden würde.

Ehe ich nunmehr zur Beschreibung der einzelnen Versuche übergehe, möchte ich noch einige Parallelen ziehen zwischen der Berieselung in der Praxis und meinen Filtrierversuchen. Es ist unmöglich, die gefundenen Resultate etwa auf die große Praxis anwenden zu wollen, also das Verhältnis des Jauchekalkes zum Filtratkalk als das in der Natur geltende anzusehen. Dazu sind die Verhältnisse, die bei den Versuchen vorlagen, zu verschieden von denen der Natur. Der Hauptunterschied liegt in den Quantitäten und in der Zeit, in der die Aufgüsse erfolgten. Während in der Natur während eines Jahres 1 m Jauche auf die Felder kommt, erhielten meine Zylinder dasselbe Quantum in 6 Wochen. Während in der Natur das Rieselwasser auf vier Termine im Jahre verteilt wird, und an diesen Terminen wiederum eine Verteilung auf mehrere Tage stattfindet, so daß immer nur ein Teil der Wasserkapazität des Bodens von der Jauche in Anspruch genommen wird und ein genügend großes Porenvolumen übrig bleibt zur Lieferung des nötigen Sauerstoffs, so folgte bei meinen Filtrierversuchen ein Aufguß dem anderen fast unmittelbar, das jedesmalige Quantum, einer Höhe von 13 cm entsprechend, sättigte den Boden vollständig, so daß der größte Teil der Bodenporen mit Wasser gefüllt war. Außerdem waren auch die Temperaturverhältnisse, Lagerung und Struktur des Bodens andere. Die Folge der unnatürlichen Verhältnisse war die Unterbindung, resp. Einschränkung aller Prozesse, die des Sauerstoffs bedürfen, also der Nitrifikation, der Zersetzung gewisser organischer Verbindungen, zum Teil wohl auch der Kohlensäurebildung. Ob die Nitrifikation über-

haupt in den oberen Bodenschichten des Rieselbodens, also auch bei natürlichen Verhältnissen mit ungestörtem Luftzutritt, statthat und gleichzeitig mit dem Abbau der organischen Stickstoffverbindungen zu Ammoniak vor sich geht, darüber liegen noch keine Versuche vor. Jedenfalls, sei es aus Mangel an Sauerstoff, sei es wegen der geringen Bodenhöhe von 35 cm, zu einer Nitrifikation kam es nicht, denn die Ammoniakmengen des Filtrats glichen denen des Aufgusses. Somit war dasjenige Moment, das in der Natur die Hauptursache der Auswaschung der basischen Stoffe darstellt, ausgeschaltet. Mit dem Verzicht auf die Nachahmung der natürlichen Verhältnisse hatte ich aber Gelegenheit, den einen Prozeß, den der Absorption des Kalkes, fast ungestört von dem Auswaschungsprozeß, zu beobachten. Beide Prozesse zusammen ergeben die Resultate, wie sie in der Natur vorliegen. Hoffentlich werden in kurzem auch solche Versuche angestellt, die in bezug auf Luftzutritt den natürlichen Verhältnissen ähnlicher sind. Aus den dann sich ergebenden Resultaten wird man die Bedeutung der Auswaschung ersehen, nachdem durch die jetzt zu beschreibenden Versuche die Größe der Absorption festgestellt ist.

Am 30. Mai 1910 beschaffte ich mir mit gütiger Erlaubnis des Herrn Stadtrat Marggraff aus der Pumpstation in der Scharnhorststraße einen Ballon von ca. 50 Liter unfiltrierter Jauche. Als Kalkgehalt der unfiltrierten Jauche wurde gefunden: 0,171 g und 0,169 g CaO im Liter, als Kalkgehalt filtrierter Jauche einmal 0,107 g und 0,101 g CaO, das zweite Mal 0,1015 g und 0,1055 g CaO im Liter. Als Durchschnittszahl ergibt sich 0,1038 g CaO im Liter filtrierter Jauche und 0,0662 g in den suspendierten Teilchen eines Liters unfiltrierter Jauche. Um einigermaßen über event. auftretende Nitrifikation im Boden orientiert zu sein, wurde der Ammoniakgehalt der Jauche ebenfalls bestimmt. Am 30. Mai waren im Liter filtrierter Jauche 70 mg Stickstoff als Ammoniak enthalten. Trotzdem die Jauche in einem fest zugekorkten

Ballon aufgehoben wurde, ging der Abbau des organischen Stickstoffs ziemlich rasch vor sich; denn am 1. Juni wurden 75 mg, am 10. Juni 92 mg, am 14. Juni 110 mg Stickstoff als Ammoniak im Liter filtrierter Jauche gefunden.

Andere Bestandteile der Jauche wurden nicht untersucht, da der Zweck des Versuches lediglich der Untersuchung der Absorptionskraft des unberieselten und des berieselten Bodens galt.

Zwei Zylinder wurden mit Rieselboden, zwei mit unberieseltem beschickt. Von jedem der vier Filtrate wurde eine Doppelbestimmung ausgeführt. Die Uebereinstimmung der vier Zahlen war stets eine gute. Die Resultate der Versuche, die am 30. Mai begonnen wurden, sind aus den Tabellen IV bis VII ersichtlich.

Wie man aus den Tabellen ersieht, wurden die Aufgüsse solange wiederholt, bis sich ein ungefähr konstantes Verhältnis zwischen Jauche- und Filtratkalk ergab. Am 14. Juni wurde von neuem mit den Jaucheaufgüssen begonnen. Benutzt wurde dieselbe Jauche wie am 30. Mai, deren gelöster Kalkgehalt inzwischen auf 132 mg im Liter gestiegen war, auf Kosten des in den suspendierten Teilchen enthaltenen unlöslichen Kalkes. Aus den Tabellen geht die Ueberlegenheit des unberieselten Bodens gegenüber dem berieselten in bezug auf Absorptionskraft deutlich hervor. Die zuerst höheren Zahlen der Filtrate A bis C bei berieseltem und unberieseltem Boden sind nicht als normal zu betrachten. Wie man sieht, sinken die Zahlen gleichmäßig von Filtrat zu Filtrat, bis sie die dann für alle folgenden Filtrate konstant bleibende Zahl erreicht haben. Wahrscheinlich erscheint in den ersten Filtraten der sehr leicht lösliche Bodenkalk. Die Konstanz der späteren Filtrate wird nur dann gestört, wenn der Aufguß mehrere Tage im Boden gelassen wurde. Dann stieg der Gehalt der Filtrate an CaO um ein Beträchtliches.

Zum Verständnis der Kalkabsorption ist es nötig, über die Form des in der Jauche enthaltenen Kalkes Klarheit zu

gewinnen. Verrechnet man an der Hand der Salkowskyschen Jaucheanalysen Basen auf Säuren nach ihrem Molekulargewicht, so bleibt ein großer Teil der Basen ungebunden übrig. Es liegt nun nahe, da die Mineralsäuren zur Bindung der Basen nicht auslangen, sich nach organischen Säuren umzusehen, die event. in Betracht kommen. Der Anteil derartiger Säuren, meistens Fettsäuren, an der Zusammensetzung der Jauche ist ziemlich bedeutend. Aus der Arbeit Dr. Schreibers über die Berliner Rieselfelder[28] geht hervor, daß die Spüljauche durchschnittlich 167 mg Fett im Liter enthält. Der geringste von ihm gefundene Gehalt war 101 mg, der höchste 259 mg im Liter. Dieser Fettgehalt setzt sich zum größten Teil aus Neutralfett und freien Fettsäuren, zum geringeren Teil, durchschnittlich etwa zur Hälfte, aus Seifen zusammen. Nun könnte der Einwand erhoben werden, der Anteil dieser Fettsäure an der Bindung der Basen kann nicht sehr groß sein, weil das Neutralfett der Jauche unlöslich ist und von den Seifen nur die Alkaliseifen löslich sind, die aber im Vergleich zu den unlöslichen Kalkseifen in den Hintergrund treten. Es können also von den 167 mg Fett im Liter nur wenige Milligramm zur Bindung in Betracht kommen. Weiter könnte eingewandt werden, das Molekulargewicht der Fettsäuren (durchschnittlich ca. 250) ist ca. sechsmal so groß wie das von Ca, so daß nur ein ganz geringer Teil des Kalkes von den Fettsäuren gebunden würde. Auf diese Einwände möchte ich ein paar Zeilen anführen, die mir Professor Salkowsky liebenswürdigerweise mitteilte, als ich mich an ihn mit der Frage wandte, in welcher Form der gelöste Jauchekalk enthalten sei: „Stets enthält die Spüljauche außer dem gelösten Kalk auch ungelösten in Form von Calciumseifen, hauptsächlich wohl der Palmitinsäure und Oelsäure. Diese sind nun bis zu einem gewissen Grade auch

---

28. Dr. Karl Schreiber: Ueber den Fettreichtum der Abwässer und das Verhalten des Fettes im Boden der Rieselfelder Berlins.

in Wasser löslich und man ist wohl zu der Annahme berechtigt, daß diese Löslichkeit in der kompliziert zusammengesetzten Flüssigkeit eine größere sein wird. Auch Buttersäure und nahestehende flüchtige Fettsäuren sind stets in der Spüljauche enthalten. Da deren Calciumsalze leicht löslich sind, so steht nichts der Annahme entgegen, daß ein Teil des Kalkes an diese gebunden ist.“

Für die Annahme, daß ein Teil des Kalkes an organische Säuren gebunden ist, spricht auch die Tatsache, daß bei den Filtrierversuchen selbst im Filtrat nur dann erheblich mehr Kalk erschien als in den fast konstanten vorhergehenden, wenn die Jauche längere Zeit im Boden belassen wurde. Es ist sehr wahrscheinlich, daß dieses Plus an Kalk aus der Zersetzung von vorher absorbierten organischen Kalkverbindungen stammt. Es ist allerdings auch nicht ausgeschlossen, daß mit der Zeit sich Kohlensäure bildete und etwas Kalk als Calciumkarbonat in die Filtrate ging. Es können aber nur Spuren von Kohlensäure gewesen sein, da sich bei Behandlung mit Salzsäure keine Kohlensäure nachweisen ließ. Eine Nitrifikation fand auch dann nicht statt, wenn die Jauche 15 Tage im Boden gelassen wurde. So ergab das Filtrat F vom Rieselboden 132,5 mg Stickstoff, vom unberieselten Boden 112,5 mg Stickstoff als Ammoniak. Um die Frage der organischen Kalkverbindungen in der Jauche zu beantworten und wissenschaftlich zu beweisen, wird es nötig sein, in der filtrierten Jauche, in der man nur mit gelöstem Kalk arbeitet, die Kalkseife zu bestimmen, eventl. auch die flüchtigen Fettsäuren, die als bindendes Moment in Frage kommen. Auf eine Anfrage hin wurde mir von Professor Holde, Abteilungsvorsteher für Oele und Fette im Kgl. Materialprüfungsamt, liebenswürdigerweise mitgeteilt, daß die Ausführung der Kalkseifenbestimmung in der Weise zu erfolgen habe, daß man den Trockenrückstand mit 20 bis 30 % alkoholhaltigem Wasser auswäscht, um ihn zunächst von den Alkaliseifen zu befreien. Um event. vorhandenes

Neutralfett und freie Fettsäure zu entfernen, wird der Rückstand mit Azeton ausgezogen. Nunmehr enthält der Rückstand nur noch Kalkseife. Durch Kochen mit Salzsäure oder einer anderen Säure setzt man die an den Kalk gebundenen Fettsäuren in Freiheit und bestimmt dieselben im Aetherextrakt. Mit Hilfe des Aequivalentgewichtes berechnet man aus den Fettsäuren den Kalk. Bis zur Ausführung dieser Bestimmung muß die ausgesprochene Ansicht über den Anteil der Fettsäuren an der Bindung des gelösten Kalkes Hypothese bleiben.

Ueber das Verhalten derartiger organischer Kalkverbindungen im Boden konnte ich in der Literatur keine Angaben finden. Sollte die oben angedeutete Analyse der organischen Kalkverbindungen in der Jauche ansehnliche Quantitäten ergeben, so wäre es unbedingt nötig, Versuche mit Kalkseife resp. anderen organischen Kalkverbindungen anzustellen, die das Verhalten derselben gegenüber dem Boden und der Pflanze aufzuklären hätten.

Außer den organischen Kalkverbindungen enthält die Jauche den Kalk als Calciumsulfat, da in der Jauche selten Schwefelsäure fehlt, ferner, falls nicht bereits durch das gebildete Ammoniak in mehrbasisches Phosphat übergeführt, als Monocalciumphosphat, in welcher Verbindung der Kalk zum Teil im Harn aus dem menschlichen Körper ausgeschieden wird. Es mögen auch noch andere Kalkverbindungen in der Jauche vorkommen, die aber wohl im Vergleich mit den bis jetzt genannten zurücktreten. Da man nun nicht weiß, wieviel Kalk auf jede der genannten Verbindungen kommt, so ist es auch sehr schwer, die Art der Absorption im Boden zu charakterisieren, die für jede Kalkverbindung verschieden ist. Während z. B. Monocalciumphosphat sehr gut vom Boden absorbiert wird, ist Calciumchlorid eine schwer absorbierbare Verbindung. Der Vorgang der Absorption ist in beiden Fällen ein ganz verschiedener. Im ersten Fall

findet diejenige Art der Absorption statt, welche Ramann[29] folgendermaßen charakterisiert. „Das zugeführte Salz wird ganz aufgenommen, wenn ein Teil desselben gebunden, der andere unlöslich abgeschieden wird. Doppeltphosphorsaures Calcium und Eisenoxyd bilden phosphorsaures Eisenoxyd und zwei- oder dreibasisch phosphorsauren Kalk.“ In diesem Fall ist also das Eisen im Boden der Träger der Absorption. Calciumchlorid ist dagegen mehr auf die Zeolithe angewiesen, an denen unsere Böden arm sind, und wird auf Grund des Massenwirkungsgesetzes festgehalten, während andere basische Stoffe, wie Kalium und Natrium, die zwar eine größere Verwandtschaft zu den Zeolithen haben, aber in ihren Quantitäten den eingeführten Kalkmengen nachstehen, dafür in Lösung gehen. Natürlich muß das Uebergewicht von Kalk gegenüber Kalium und Natrium in der Quantität sehr groß sein. Das einfachste Mittel, um einen Maßstab für die Absorption des in der Jauche gelösten Kalkes zu erhalten und mit Hilfe desselben auch rückwärts auf die Form des Kalkes schließen zu können, schien mir das Beschicken der Bodenzylinder mit künstlich hergestellten Kalklösungen zu sein. Benutzt wurde zuerst eine Lösung von Monocalciumphosphat und später eine solche von Calciumchlorid. Da ich die Absicht hatte, nach den Absorptionsversuchen Auswaschungen mit kohlensäurehaltigem Wasser vorzunehmen, so reservierte ich mir dazu einen Zylinder mit unberieseltem, und einen mit berieseltem Boden. Infolgedessen blieben mir zu den jetzt anzuführenden Versuchen mit Monocalciumphosphat und Calciumchlorid nur je ein Zylinder übrig. Da die beiden Zylinder von Rieselboden und die beiden von unberieseltem untereinander gut übereinstimmende Resultate gezeigt hatten, so glaubte ich, mich bei diesen Versuchen mit je einem Zylinder begnügen zu dürfen. Die Resultate dieser Versuche sind aus den Tabellen VI und VII ersichtlich.

29. Professor Ramann: Bodenkunde.

Die Tabellen beweisen wiederum die Ueberlegenheit des unberieselten Bodens gegenüber dem berieselten in bezug auf die Absorptionskraft. Bei den Versuchen mit der Monocalciumphosphatlösung, wobei, wie oben angedeutet, das Eisen im Boden der Träger der Absorption ist, vermochte der unberieselte Boden den aufgebrachten Kalk während aller Aufgüsse zu 100 %, also völlig zu absorbieren, während der Rieselboden mit ca. 80 % beginnend, von seiner Absorptionskraft während der Versuche verlor und am Schluß der Aufgüsse nur noch ca. 50 % des aufgebrachten Kalkes festhielt. Bei den Calciumchloridaufgüssen, wo hauptsächlich die Zeolithe die Absorption bewirken, hielt der unberieselte Boden zunächst 75 % des Kalkes fest, ließ dann allerdings allmählich nach, um am Schluß der Aufgüsse immerhin noch 50 % zu absorbieren. Der Rieselboden dagegen konnte von Anfang an nur 10 bis 20 % des aufgebrachten Kalkes festhalten.

Vergleicht man nun diese Resultate mit den vorher bei den Jaucheaufgüssen gefundenen, so sieht man, daß die Absorption des gelösten Kalkes ungefähr in der Mitte liegt zwischen der von Calciumchlorid und der von Monocalciumphosphat. Die verschiedenen in der Jauche enthaltenen Kalkverbindungen besitzen also eine als durchschnittlich zu bezeichnende Absorbierbarkeit, da man die Absorption von Monocalciumphosphat und die von Calciumchlorid wohl als die Extreme der schweren und leichten Absorbierbarkeit der Kalkverbindungen ansehen kann. Für die Praxis geht aus diesen Versuchen hervor, daß man, ganz abgesehen von den Auswaschungen der Basen durch die sich bildenden Säuren, vorzugsweise Salpetersäure, schon bei der Absorption mit großen Verlusten zu rechnen hat. Die Frage der Kalkdüngung, über deren Notwendigkeit auf Rieselboden man sich allgemein einig ist, muß, wie man aus den Versuchen ersieht, auch nach der Richtung hin genau untersucht werden, in welcher Form man den Kalk dem Boden einverleibt, da man bei der immer schwächer werden-

den Absorptionskraft des Bodens mit großen Verlusten zu rechnen hat.

Ehe ich zu den letzten Versuchen, den Auswaschungen, übergehe, möchte ich die für die Auswaschung in Frage kommenden Kalkmengen kurz skizzieren. Zylinder I (Rieselboden) erhielt durch 8 Jaucheaufgüsse 665 mg CaO. In den 8 Filtraten erschienen 317 mg CaO wieder. Es sind also 348 mg CaO vom Boden absorbiert worden, und somit ist der Kalkgehalt des Bodens, der vor den Aufgüssen 0,107 % betrug, um 0,013 % gesteigert.

Zylinder III (unberieselter Boden) erhielt durch 8 Jaucheaufgüsse ebenfalls 665 mg CaO. In den 8 Filtraten erschienen 188 mg CaO wieder. Es sind also 477 mg CaO vom Boden absorbiert worden, und somit ist der Kalkgehalt des Bodens, der vorher 0,045 % betrug, um 0,019 % gesteigert. Ueber die Bedeutung der beiden Zahlen 348 und 477, die die Ueberlegenheit des unberieselten Bodens charakterisieren, habe ich ja schon oben ausführlich berichtet, möchte hier nur hinzufügen, daß die Differenz natürlich um so größer geworden wäre, je länger ich den Versuch ausgedehnt hätte, da das Verhältnis ja konstant blieb.

Zylinder I und III wurden nun mit kohlensäurehaltigem Wasser ausgezogen. In destilliertes Wasser war solange Kohlensäure eingeführt worden, bis man annehmen konnte, daß das Wasser gesättigt sei.

Die Resultate dieser Auswaschungen sind in Tabelle VIII wiedergegeben. Trotz geringer Schwankungen ist im allgemeinen bei beiden Zylindern eine gewisse Konstanz sowohl innerhalb desselben Zylinders als auch in ihrem gegenseitigen Verhältnis zu konstatieren. Gegen Ende der Auswaschungen werden die Kalkmengen der Filtrate (z u. α) kleiner, das Verhältnis zwischen den Zylindern bleibt jedoch ungefähr dasselbe. Infolgedessen erübrigte es sich, den Versuch solange fortzusetzen, bis überhaupt kein Kalk mehr im Filtrat erschien. Ich berufe mich auf die Angaben

Königs[30] über Kohlensäureauszüge: „Der erste Auszug mit kohlensäurehaltigem Wasser enthält zwar mehr Pflanzennährstoffe als die späteren Auszüge, mit dem zweiten und dritten Auszug wird jedoch bei Anwendung stets gleicher Wassermengen hinsichtlich der Menge eine beinahe unveränderliche Größe erreicht, welche mit der chemischen Konstitution des Bodens und seinem Gehalt an absorbierten Nährstoffen, sowie mit der länger anhaltenden Fruchtbarkeit desselben in Zusammenhang zu stehen scheint."

Die Addition der ausgewaschenen Kalkmengen ergibt für Zylinder I 1120,8 mg CaO, für Zylinder III 711,5 mg CaO. Aus diesen Zahlen hätte ich schließen können, ob der Jauchekalk mehr oder weniger stark im Boden gebunden wird, wenn ich noch 2 Zylinder mit kohlensäuregesättigtem Wasser ausgewaschen hätte, die vorher keine Jaucheaufgüsse erhalten durften. Ich hätte dann durch Abzug der dabei gefundenen Resultate von den vorliegenden die mehr oder minder starke Auswaschbarkeit des aus der Jauche absorbierten Kalkes ersehen können. Da dies nun leider unterbleiben mußte wegen Mangel an Bodenmaterial, weil sich ja oft solche Fragen erst im Laufe der Untersuchung ergeben, so ist diese Frage unbeantwortet geblieben.

Um nicht Fehlschlüsse zu machen, muß man sich darüber klar sein, daß die Zylinder zu Beginn der Auswaschungen derartige Quantitäten von Kalk in absorbiertem Zustand festhielten, wie es in der Natur bei der Berieselung nie vorkommen wird, weil der der Absorption entgegenwirkende Faktor, die auswaschenden Säuren, so gut wie ausgeschaltet war. Man darf sich also durch die bei den Auswaschungen gefundenen Zahlen nicht zu einer zu günstigen Beurteilung der in kohlensäuregesättigtem Wasser löslichen Kalkmengen verleiten lassen. Es wäre falsch, aus den durch so viele

30. König: Die Untersuchung landwirtschaftlich und gewerblich wichtiger Stoffe.

Filtrate hindurch fast konstant bleibenden Kalkmengen zu schließen, daß in der Natur dieselben Quantitäten den Pflanzen zur Verfügung ständen.

Mit Sicherheit ist jedoch aus den Versuchen zu entnehmen, daß der Rieselboden im Vergleich zum unberieselten nicht derartige Quantitäten löslichen Kalks zur Verfügung stellt, wie es den Mehranforderungen entsprechen würde, die an den Boden durch die großen Ernten der Rieselkulturen gestellt werden, zumal wenn man bedenkt, daß der Rieselboden durch die 8 Jaucheaufgüsse große Quantitäten Kalk erhalten hat, ohne durch sich bildende Säuren Kalk zu verlieren. Dies war ja schon aus den Zitronensäureaufschlüssen ersichtlich, aus denen sich ergab, daß der Rieselboden nur doppelt so viel leichtlöslichen Kalk enthielt wie der unberieselte. Wenn sich bei diesen Versuchen das Verhältnis für den unberieselten etwas günstiger gestaltete, so liegt das an den großen Mengen Kalk, die der unberieselte Boden während der vorhergehenden Versuche im Verhältnis zu seinem Kalkgehalt absorbiert hatte.

Die Auswaschungen mit destilliertem Wasser, deren Ergebnisse in Tabelle IX zusammengefaßt sind, sind insofern nicht mit den eben beschriebenen vergleichbar, als außer dem absorbierten Jauchekalk auch große Mengen aus den Monocalciumphosphat- und Calciumchloridlösungen absorbierter Kalk im Boden angesammelt war. Obwohl sich bei diesen Versuchen das Verhältnis für Rieselboden etwas günstiger gestaltet, sind die im Liter löslichen Kalkmengen doch noch sehr gering und beweisen die Kalkarmut des Rieselbodens. Zum Vergleich möchte ich hier den Kalkgehalt einiger Drainwasser aus verschiedenen Bodenarten wiedergeben[31]:

Lehmiger Sand	123
Tonboden auf Kalkunterlage	134
Niederungsmoorboden	433
Hochmoorboden	29

31. Vogler: Grundlehren der Kulturtechnik, 1909, S. 172.

Die Ueberlegenheit der drei ersten Böden gegenüber meinem Rieselboden wird zwar etwas dadurch eingeschränkt, daß der Boden in der Natur reich an Kohlensäure ist, während zu den Versuchen destilliertes Wasser benutzt wurde. Jedoch haben die Auswaschungen mit kohlensäurehaltigem Wasser bewiesen, daß die Zahlen trotzdem noch weit hinter denjenigen bei den angeführten Böden zurückbleiben und nur das Drainwasser von dem bekanntlich stets kalkarmen Hochmoor übertreffen. Das Kalkbedürfnis meines geringen Rieselbodens tritt nach diesen Versuchen deutlich hervor. In welcher Form der fehlende Kalk zugeführt werden muß, darüber sollten erst eingehende Versuche angestellt werden, wenn man große Verluste durch Auswaschungen vermeiden will. Ueberhaupt gilt es, bezüglich des Kalkes noch manche Frage zu klären, wie es sich ja auch im Laufe dieser Arbeit herausgestellt hat, daß manch dankbare Aufgabe des Agrikulturchemikers wartet, deren Lösung die Rentabilität der Rieselwirtschaft erhöhen und damit für ihre weitere Verbreitung und Wertschätzung sorgen wird.

Tabelle I.

Bezeichnung des Bodens	Hygroskopisches Wasser %	Glühverlust %	Humus[1] (Elementaranalyse) %
Friedrichsfelde Profil VI[2] (Oberkrume)	0,80	3,00	2,32 2,45
Friedrichsfelde Profil VIII (Oberkrume)	0,33	1,04	0,76 0,71
Friedrichsfelde Profil IX (Oberkrume)	0,27	0,93	0,47 0,44 0,45

1. Es wird angenommen, daß in 100 Teilen Humus 60 Teile Kohlenstoff enthalten sind.

2. Orth, Die geognostisch-agronomische Kartierung. Berlin, Ernst & Korn 1875.

Tabelle II.

Mechanische Analyse.

Profil *A*

Mächtigkeit m	Bodenart	Körnung der gröberen Teile				Tonige Teile	
		> 1 mm	> 0,5 mm	> 0,2 mm	<0,2 mm	Feinton und Eisen	Staub
						5,7	
0—0,35	Geringer Sandboden	0,32	3,01	90,29	0,68	3,6	2,1
						5,2	
0,35—0,60	Sand, Untergrund rotbraun gefärbt	0,24	2,36	91,53	0,67	4,0	1,2
						1,8	
0,60—1,00	weißer Sand	0,45	9,52	86,95	1,28	1,6	0,2
Profil +							
						6,9	
0—0,40	Sandboden, angereichert an Humus und Nährstoffen	0,49	3,77	88,1	0,74	3,6	3,3
						1,1	
0,40—0,70	Sand, Untergrund weiß	0,29	5,99	91,77	0,85	0,6	0,5
						2,0	
0,70—1,00	weißer Sand	0,36	1,99	94,61	1,04	1,8	0,2
						2,4	
1,00—1,30		0,08	2,61	93,99	0,92	2,1	0,3
Profil —							
						7,9	
0—0,33	Sandboden, angereichert an Humus und Nährstoffen	0,20	3,84	87,39	0,67	3,7	4,2
						3,8	
0,33—0,58	Sand, Untergrund weiß	0,28	3,10	90,48	2,34	2,8	1,0
						2,7	
0,58—1,10	weißer Sand	0,20	4,90	91,21	0,99	2,0	0,7

Sämtliche Zahlen geben den prozentischen Anteil am Gesamtboden, also inkl. Grand, an.

Tabelle III.

Profil *A*: unberieseltes Oedland.

Tiefe	Stickstoff-absorption pro 1000 kg	Chemische Analyse:								
		Humus	Stickstoff	Löslich in heißer Salzsäure					NH_3-Stickstoff	HNO_3-Stickstoff
				CaO	P_2O_5	K_2O	Fe_2O_3	Al_2O_3		
m	g	%	%	%	%	%	%	%	%	%
0—0,35	42,3	0,94	0,056	0,045	0,072	0,043	0,438	0,682	0,005	0,004
0,35—0,60	21,8	0,32	0,025	0,034	0,059	0,058	0,586	1,145		
0,60—1,00	15,4	0,07	0,013	0,030	0,011	0,052	0,291	0,340		
Profil +: berieseltes Gemüseland.										
0—0,40	34,6	1,93	0,104	0,107	0,157	0,098	0,498	0,594	0,006	0,007
0,40—0,70	21,8	0,15	0,017	0,031	0,052	0,041	0,336	0,474		
0,70—1,00	2,6	0,083		0,043	0,038	0,069	0,304	0,370		
1,00—1,30	12,8	0,060		0,037	0,023	0,072	0,323	0,373		
Profil —: berieseltes Grasland.										
0—0,33	69,05	2,09	0,128	0,093	0,168	0,093	0,454	0,527	0,004	0,007
0,33—0,58	10,2	0,31	0,028	0,036	0,106	0,061	0,412	0,731		
0,58—1,10	7,7	0,14	0,017	0,026	0,051	0,048	0,304	0,372		

Tabelle IV.

Absorptionsversuche mit Jauche (Gehalt = 103,8 mg CaO im l). Jeder Aufguss betrug 750 ccm.

Bezeichnung des Filtrats	Länge der Zeit, die der Aufguß mit dem Boden in Berührung blieb	Gehalt der Filtrate							
		Zylinder I Rieselboden		Zylinder II Rieselboden		Zylinder III unberieselter Boden		Zylinder IV unberieselter Boden	
		mg CaO	im l	mg CaO	im l	mg CaO	im l	mg CaO	im l
A	20 Stunden	111,2	110,8	112,0	112,8	79,6	80,0	78,8	78,0
B	2½ „	52,4	52,4	52,0	52,5	39,0	39,0	44,0	40,0
C	3 „	41,5	48,0	39,5	43,5	22,5	21,5	21,5	28,5
D	19 „	37,5	38,0	37,0	38,0	17,5	17,0	19,0	23,5
E	3 „	35,5	34,5	34,5	29,0	19,0	15,0	17,0	12,0
F	15 Tage	56,8	57,2	56	62,8	34,8	26,0	26,8	26,0

Gehalt der Filtrate in prozentuales Verhältnis gesetzt zum Gehalt der Jauche 103,8 mg CaO = 100 %.

		%		%		%		%	
A		107	107	108	109	77	77	76	75
B		50	50	50	50	38	38	42	38
C		40	46	38	42	22	21	21	27
D		36	37	36	37	17	16	18	23
E		34	33	33	28	18	14	16	12
F		55	55	54	60	34	25	26	25

Tabelle V.

Absorptionsversuche mit Jauche (Gehalt = 132 mg CaO im l). Jeder Aufguss betrug 750 ccm.

Bezeichnung des Filtrats	Länge der Zeit, die der Aufguß mit dem Boden in Berührung blieb	Gehalt der Filtrate							
		Zylinder I		Zylinder II		Zylinder III		Zylinder IV	
		mg CaO	im l	mg CaO	im l	mg CaO	im l	mg CaO	im l
G	2 Tage	30,4	30,0	34,5	40,0	16,8	13,6	12,4	14,5
H	5 „	60,0[1]		72,0	70,4	32,0[1]		14,0	12,8

Gehalt der Filtrate in prozentuales Verhältnis gesetzt zum Gehalt der Jauche 132 mg CaO = 100 %.

		%		%		%		%	
G		23	23	26	30	13	10	9	11
H		45		55	53	24		11	10

1. Filtrat H I und H III war 22 Tage mit Boden in Berührung.

Tabelle VI.

Absorptionsversuche mit einer Lösung von $CaH_4(PO_4)_2$ (Gehalt = 107 mg CaO im l). Jeder Aufguss betrug 750 ccm.

Bezeichnung des Filtrats	Länge der Zeit, die der Aufguss mit dem Boden in Berührung blieb	Gehalt der Filtrate			
		Zylinder II		Zylinder IV	
		mg CaO	im l	mg CaO	im l
J	20 Stunden	23,2	21,2	11,6	7,2
K	4 „	11,2	10,8	0	0
L	20 „	23,2	21,6	0	0
M	4 „	32,8	33,2	0	0
N	2 Tage	42,0		0	0
O	4 „	56,8	57,2	0	0

Gehalt der Filtrate in prozentuales Verhältnis gesetzt zum Gehalt der aufgegossenen Lösung 107 mg CaO = 100 %.

		%		%	
J		22	20	11	7
K		10	10	0	0
L		22	20	0	0
M		31	31	0	0
N		39		0	0
O		53	53	0	0

Tabelle VII.

Absorptionsversuche mit einer Lösung von $CaCl_2$ (Gehalt an CaO = 84 mg im l).

Jeder Aufguss betrug 750 ccm.

Bezeichnung des Filtrats	Länge der Zeit, die der Aufguß mit dem Boden in Berührung blieb	Gehalt der Filtrate			
		Zylinder II		Zylinder IV	
		mg CaO	im l	mg CaO	im l
P	1½ Stunden	66,8	64,8	20,8	18,4
Q	20 „	71,6	65,6	28,0	26,0
R	26 „	68,8	68,8	38,4	35,2
S	2 „	63,2	64,0	36,0	36,0
T	24 „	75,2	68,8	36,0	36,0
U	48 „	wurde ausgelassen		41,2	42,0
V	8 Tage	106,4	105,6[1]	53,6	55,6

1. Filtrat V II war 10 Tage mit Boden in Berührung.

Gehalt der Filtrate in prozentuales Verhältnis gesetzt zum Gehalt der aufgegossenen Lösung 84 mg CaO = 100 %.

P	80	77	25	22
Q	85	78	33	31
R	82	82	46	42
S	75	76	43	43
T	90	82	43	43
U	wurde ausgelassen		49	50
V	127	126	64	66

Tabelle VIII.

Auswaschungen der Zylinder I und III mit kohlensäuregesättigtem Wasser.

Jeder Aufguss betrug 750 ccm, die beiden letzten Aufgüsse Z und α 7500 ccm

Bezeichnung des Filtrats	Länge der Zeit, die der Aufguss mit dem Boden in Berührung blieb	Filtrate von Zylinder I Rieselboden		Filtrate von Zylinder III unberies. Boden	
		mg CaO	im l	mg CaO	im l
I	1 Tag	65,6	64,8	13,6	14,0
K	3 Tage	62,0	61,6	16,0	18,4
L	1 Tag	47,6	48,8	32,0	32,4
M	1 „	54,8	54,0	47,6	45,6
N	1 „	53,6	57,6	37,6	36,8
O	3 Tage	46,4	45,6	38,8	36,8
P	3 „	60,0	62,8	40,0	42,0
Q	1 Tag	65,2	61,6	48,0	47,2
R	3 Tage	62,0	62,0	42,0	41,2
S	1 Tag	61,2	60,0	42,4	43,6
T	1 „	59,6	60,0	39,2	41.2
U	1 „	60,8	60,0	37,2	42,4
V	1 „	53,2	52,0	36,0	35,2
W	1 „	48,0	50,0	36,0	35,2
X	2 Tage	40,4	46,4	32,0	32,8
Y	4 Stunden	38,0	40,8	28,8	32,0
Z		37,6	38,0	22,4	24,8
α		26,0	21,6	14,9	14,2

Tabelle IX.

Auswaschungen der Zylinder II und IV mit destilliertem Wasser. Jeder Aufguss betrug 750 ccm.

Bezeichnung des Filtrates	Länge der Zeit, die der Aufguss mit dem Boden in Berührung blieb	Filtrate von Zylinder I Rieselboden		Filtrate von Zylinder III unberies. Boden	
		mg CaO im 1		mg CaO im 1	
W	1 Tag	37,6	36,8	17,2	17,6
X	1 „	33,7	32,4	17,6	13,6
Y	1 „	32,0	31,6	16,4	15,2
Z	3 Tage	36,0	38,0	16,4	17,2
α	3 „	29,6		18,8	18,8
β	1 Tag	20,0	24,4	18,0	22,4
γ	3 Tage	31,6	30,4	19,2	17,2
δ	1 Tag	20	20,4	13,6	
ε	1 „	20,4	20,4	16,0	14,0

Es gereicht mir zur angenehmen Pflicht meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Geheimrat Professor Dr. Orth, für die Anregung zu dieser Arbeit und das ihr bei der Ausführung entgegengebrachte lebhafte Interesse meinen ergebensten Dank auszusprechen.

Lebenslauf.

Geboren am 27. September 1884 als Sohn des verstorbenen Fabrikanten Adolf Knopf zu Sorau N.-L., mosaischer Konfession, besuchte ich zuerst das Gymnasium in Sorau N.-L., später in Berlin das Joachimsthalsche Gymnasium, auf dem ich Ostern 1903 das Zeugnis der Reife erhielt. Meine erste Ausbildung in der praktischen Landwirtschaft genoß ich auf dem Rittergut Hohenfriedeberg, Kreis Bolkenhain (Ostern 1903 bis Oktober 1904). Von Oktober 1904 bis Oktober 1905 genügte ich meiner Militärpflicht in Breslau, wo ich gleichzeitig an der dortigen Universität, soweit es die Zeit erlaubte, landwirtschaftliche Vorlesungen hörte. Von Oktober 1905 bis Oktober 1907 war ich auf den Gütern Gr. Saegewitz, Kreis Breslau, Szkaradowo, Kreis Rawitsch, und Buselwitz, Kreis Oels, tätig, und zwar $^1/_2$ Jahr als Volontär, $1^1/_2$ Jahre als Beamter. Von Oktober 1907 an studiere ich in Berlin an der landwirtschaftlichen Hochschule und an der Universität Landwirtschaft, Chemie, Nationalökonomie und Philosophie.

Die Promotionsprüfung bestand ich am 27. Februar 1911.